

TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE

D'ÉLECTRICITÉ MÉDICALE

MONTPELLIER. — TYPOGRAPHIE ET LITHOGRAPHIE CHARLES BOEHM.

TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE
D'ÉLECTRICITÉ MÉDICALE

AVEC LES PRINCIPALES APPLICATIONS

A LA PHYSIOLOGIE ET A LA THÉRAPEUTIQUE

PAR

Le Dr L. LECERCLE

PROFESSEUR AGRÉGÉ A LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE MONTPELLIER

AVEC UNE PRÉFACE

Par M. le Docteur A. IMBERT

PROFESSEUR A LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE MONTPELLIER

DEUXIÈME ÉDITION ENTIÈREMENT REFONDUE

Avec 215 Figures intercalées dans le texte

MONTPELLIER
CAMILLE COULET, LIBRAIRE-ÉDITEUR
5, GRAND'RUE, 5.

PARIS
GEORGES MASSON, LIBRAIRE-ÉDITEUR
120, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, 120

1893

PRÉFACE

Le *Traité élémentaire d'Électricité médicale* de mon collègue et ami, M. le professeur agrégé Lecercle, a été écrit spécialement pour nos étudiants en médecine. L'auteur, qui depuis plusieurs années enseigne cette partie de la physique à la Faculté de Montpellier, s'est proposé de présenter, sous une forme concise et claire, les théories et les lois que tout médecin doit nécessairement connaître s'il veut pouvoir comprendre les applications médicales de l'électricité et être en état d'utiliser lui-même, dans bien des cas, les ressources offertes par cet agent, dont la valeur thérapeutique est aujourd'hui irrécusablement établie. Un tel livre, dans lequel l'auteur ne perd pas un seul instant de vue le but spécial qu'il s'est proposé, rendra d'incontestables services.

Si l'Électrothérapie est si peu en honneur en France qu'on aurait vite fait d'énumérer, pour la Province, les spécialistes qui la pratiquent, cela tient sans doute en partie à l'insuffisance des connaissances scientifiques des étudiants qui arrivent dans les Facultés de Médecine. Mais une autre cause réside aussi, croyons-nous, dans la distinction trop radicale que l'on a voulu établir entre la théorie et la pratique, les enseignements de la première année actuelle d'études médicales devant, en particulier, d'après quelques-uns, être entièrement consacrés à l'exposé théorique des lois et des phénomènes physiques. L'étudiant en médecine, en effet,

ne peut s'intéresser que médiocrement à de tels cours, qui sont forcément la répétition des cours de l'enseignement secondaire et qui lui paraissent plutôt utiles pour compléter son instruction générale que nécessaires à ses études professionnelles; aussi ne voit-il dans des leçons toutes théoriques que la matière d'un premier examen et oublie-t-il, sans peine et sans regret, des notions dont l'utilité ne lui est pas démontrée.

Si l'on tient compte, en outre, de l'insuffisance évidente des quelques séances de travaux pratiques que chaque élève effectue dans un laboratoire, on conçoit que, un an ou deux après, l'étudiant, stagiaire dans les diverses cliniques, inhabile à une technique qu'il n'a jamais bien sue, ignorant par oubli des lois et des phénomènes, se désintéresse bien vite d'une branche des sciences médicales dont beaucoup réduisent l'importance à l'emploi accidentel du galvano-cautère et de deux mignons appareils à courant continu et à courant interrompu.

Tout autre sera l'attrait d'un cours adapté dans toutes ses parties aux besoins des auditeurs auxquels il est destiné, c'est-à-dire dans lequel seront étudiés seuls, avec l'importance relative qui leur revient, les phénomènes électriques que l'électro-thérapie et l'électro-physiologie utilisent; dans lequel les exemples d'appareils électriques seront choisis parmi ceux dont se servent les physiologistes et les cliniciens. Tout autre aussi sera le profit qu'en retireront les étudiants, si ce cours est complété non seulement par les travaux pratiques insuffisants du laboratoire, mais par une installation électrothérapique hospitalière; là, les étudiants pourront sans interruption, pendant tout le cours de leurs études, se familiariser, tout d'abord, avec la technique électrique et, pendant leur stage dans les hôpitaux, suivre les effets des traitements électrothérapiques, constater la néces-

sité de doser l'agent thérapeutique employé et appliquer eux-mêmes les divers procédés d'électrisation.

Un tel cours et de tels travaux pratiques sont également indispensables, cours que de futurs médecins aient seuls intérêt à suivre, travaux pratiques multipliés et transportés dans les hôpitaux.

C'est en se plaçant à ce point de vue que l'auteur a rédigé le *Traité élémentaire d'Électricité médicale*.

Écrit spécialement pour nos étudiants, ceux-ci trouveront dans ce livre, sous un petit volume, toutes les notions d'électricité qu'un médecin doit posséder. Ajoutons que la publication du *Traité d'Électricité médicale* sera bientôt suivie de celle d'un autre ouvrage, complément nécessaire de celui-ci, consacré à l'Électrothérapie proprement dite.

Les deux volumes de M. Lecercle constitueront une œuvre aussi utile aux élèves qu'à l'enseignement.

A. IMBERT.

TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE

D'ÉLECTRICITÉ MÉDICALE

INTRODUCTION

1. — Emploi médical de l'électricité. — L'électricité se manifeste par un certain nombre de phénomènes. Les plus fréquemment utilisés et les plus faciles à produire sont :

1° L'attraction des corps légers ;

2° La déviation d'une aiguille aimantée ;

3° La contraction musculaire.

Le médecin a recours à trois sources d'électricité :

1° Aux machines électrostatiques à frottement ou à influence ;

2° Aux piles électriques ;

3° Aux appareils d'induction.

M. d'Arsonval distingue une quatrième source d'électricité. C'est une machine électro-magnétique spéciale, construite sur ses indications par Gaiffe et qui fournit des courants d'induction particuliers qu'il désigne sous le nom de courants sinusoïdaux.

Les machines électriques donnent de l'électricité statique, les piles de l'électricité galvanique, les appareils d'induction de l'électricité faradique.

L'emploi médical de ces trois sources d'électricité est souvent désigné sous les noms de franklinisation, de galvanisation et de faradisation, et on peut appeler avec avantage franklinisme, galvanisme et faradisme, l'électricité qu'elles fournissent.

Des caractères différentiels permettent de distinguer ces trois modes d'électricité, mais des propriétés communes, comme la déviation que l'électricité sous ses trois formes fait subir à l'aiguille aimantée, leur action souvent concordante sur les êtres vivants à l'état physiologique et pathologique, permettent d'affirmer que l'électricité est une, quel que soit le procédé qui sert pour l'obtenir.

2. — L'électricité est une forme particulière de l'énergie. — L'électricité ne peut être définie que par les effets qu'elle produit. C'est ainsi que l'électricité obtenue par frottement est définie par la propriété qu'elle possède d'attirer les corps légers.

Nous ne savons rien sur la nature de l'électricité, mais on peut la rattacher à la notion générale de l'*énergie*.

On appelle *énergie* toute cause capable de produire du travail.

L'énergie que possède un corps, c'est le travail maximum qu'il peut produire.

Un moteur travaille lorsqu'il fait parcourir un chemin déterminé à un mobile.

Pour nos applications, il nous suffira de définir le travail d'une force le produit de la force par le chemin parcouru dans sa direction.

$T = F \times H.$

T étant le nombre qui représente le travail.

F le nombre qui représente la force. H le nombre qui représente le chemin parcouru.

On exprime ordinairement le travail en kilogrammètres en exprimant la force en kilogrammes et le chemin parcouru en mètres.

Exemple : Un corps électrisé a soulevé verticalement une balle de 5 gram. à 10 centim., l'électricité a effectué un travail égal à 0 kgm. $005 \times 0,10 = 0$ kgm. 0,005.

Le travail est positif au moteur quand le mobile se déplace dans la direction de la force. Il est négatif ou résistant si le mobile se déplace en sens contraire de la force. Dans l'exemple précédent, l'électricité produit un travail moteur alors que la pesanteur exécute un travail résistant.

L'énergie totale que possède un corps en mouvement doit être divisée en énergie potentielle et énergie actuelle.

L'énergie potentielle, c'est le travail que le corps peut produire.

L'énergie actuelle, c'est le travail qu'il a déjà produit.

Exemple : Un poids de 2 kilogr. est suspendu à 10 mèt. du sol au moyen d'un fil ; toute son énergie est à l'état potentiel et égale à $2 \times 10 = 20$ kgm. Coupons le fil, le corps tombe. Lorsqu'il aura parcouru une distance de 3 mèt., il aura effectué un travail égal à 2 kgm. $\times 3 = 6$ kgm., qui représente son énergie actuelle. Il pourra encore effectuer, avant de rencontrer le sol, un travail égal à $2 \times 7 = 14$ kgm. qui représente son énergie potentielle. La somme des deux énergies, 6 kgm. + 14 kgm. = 20 kgm. = l'énergie primitive.

Cela est général.

La somme des énergies potentielle et actuelle d'un corps est constante.

Nous venons d'envisager un mode particulier de l'énergie, l'énergie mécanique. Mais la chaleur, la lumière, l'électricité, etc., qui produisent également des travaux, sont des formes particulières de l'énergie.

Le principe fondamental de la physique moderne, c'est qu'aucune énergie ne naît spontanément. Elle est toujours la transformation d'une autre forme de l'énergie et elle peut, par voie de transformation, donner d'autres formes de l'énergie.

L'énergie ne peut être créée ni disparaître.

Nous n'observons jamais que des transformations de l'énergie.

Les aliments que nous ingérons renferment de l'énergie à l'état potentiel. Les diverses transformations que ces aliments subissent soit dans le tube digestif, soit dans l'intimité des tissus, donnent de l'énergie calorifique qui se transforme en énergie mécanique quand nous exécutons des mouvements.

De même l'électricité naît par voie de transformation de certaines formes de l'énergie, et elle peut reproduire par transformation les énergies génératrices.

L'électricité apparaît lorsqu'on frotte un bâton de verre, c'est-à-dire par transformation d'une énergie mécanique. Réciproquement, elle donne de l'énergie mécanique quand elle attire les corps légers.

Dans les piles, le courant électrique apparaît comme transformation de l'énergie chimique et réciproquement en décomposant l'eau du voltamètre, l'énergie électrique se transforme en énergie chimique. De même la chaleur, la lumière, qui sont des manifestations de l'électricité, traversant un fil fin de platine, une lampe Edison, représentent de l'énergie calorifique ou lumineuse obtenue par voie de transformation de l'énergie électrique.

Nous empruntons à l'ouvrage de M. le professeur Marey, *la Machine animale*, la figure suivante qui fait bien comprendre les divers modes de transformations de l'énergie électrique (fig. 1).

Les transformations de l'énergie électrique ne sont pas toujours aussi faciles à suivre. Lorsqu'on excite avec l'énergie électrique un nerf moteur, le muscle se contracte au bout d'un temps qui peut être apprécié.

Nous observons, comme effet ultime de l'excitation, la contraction musculaire. Mais que s'est-il passé le long du nerf entre le point excité et la substance musculaire contractée? L'énergie ne pouvant pas se perdre, il n'a pu se produire que deux choses, ou bien l'énergie électrique

s'est complètement transmise le long du nerf, ou bien elle a ébranlé les molécules nerveuses, leur faisant subir des

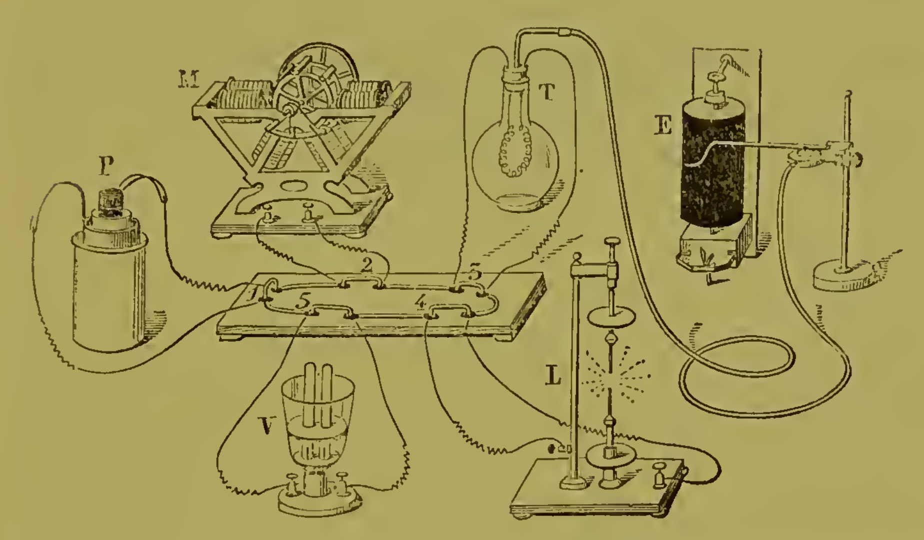


Fig. 1. — L'énergie électrique fournie par la pile P se transforme en énergie mécanique en faisant mouvoir le moteur électro-magnétique M, si on enlève les pièces métalliques 1 et 2, — en énergie calorifique en portant à l'incandescence le fil de platine placé dans le ballon T, si on enlève 1 et 3. La chaleur produite en T dilate l'air intérieur ; de là, une augmentation de pression qui se transmet à l'air de la capsule de Marey. Le levier est soulevé et le style trace sur le tambour E une courbe qui peut servir à évaluer les variations de pression et par conséquent les variations de température de l'air de T : — en enlevant 1 et 4, l'énergie électrique se transforme dans l'arc électrique L en énergie calorifique et lumineuse ; — si on enlève 1 et 5, l'énergie électrique se transforme en énergie chimique en décomposant l'eau du voltamètre.

modifications d'ordre physique ou chimique qui se sont propagées de proche en proche jusqu'à la substance musculaire.

L'énergie électrique dans la plupart des applications médicales doit être considérée comme ébranlant les molécules intégrantes de nos tissus, comme apportant dans l'organisme une énergie étrangère qui peut provoquer des combinaisons et des décompositions.

Nous concevons, sans pouvoir les suivre, ces modifications que l'électricité fait subir aux éléments constituants de la cellule. Le médecin ne peut saisir que la résultante

de ces modifications cellulaires, c'est-à-dire les changements qu'imprime à l'organisme l'emploi thérapeutique de l'électricité.

Nous avons à étudier successivement l'électricité fournie par les divers appareils médicaux. Conformément à l'usage, nous étudierons d'abord 1° l'électricité statique, 2° l'électricité galvanique, 3° l'électricité faradique.

ÉLECTRICITÉ STATIQUE

CHAPITRE PREMIER

GÉNÉRALITÉS

3. — Électricité statique. — *L'électricité statique peut s'obtenir par le frottement.* — Un tube de verre, une tige d'ébonite frottés avec un morceau de flanelle ou une peau de chat s'électrisent. Ils attirent les corps légers, barbes de plume, sciure de bois, etc.

Le verre, l'ébonite, s'électrisent par le frottement. Si nous frottions de la même façon une tige métallique tenue à la main, elle ne s'électriserait pas.

Les anciens désignaient par corps idio-électriques les corps pouvant s'électriser par le frottement et par anélectriques ceux qui n'avaient pas cette propriété.

Mais si nous fixons la tige métallique sur un bâton de verre que nous tenons à la main, nous pourrons électriser la tige métallique en la frottant.

4. — Corps bons et mauvais conducteurs. — Cette expérience, ainsi que beaucoup d'autres, conduit à admettre l'existence de deux sortes de corps, les uns sur lesquels l'électricité se propage avec la plus grande facilité, appelés pour certaine raison bons conducteurs, et d'autres sur lesquels l'électricité se meut avec difficulté. Ce sont les corps mauvais conducteurs ou isolants.

Comme exemples de corps bons conducteurs citons: l'eau, les métaux, les solutions salines, le corps humain. Le verre, la laine, la résine, la soie, l'ébonite (caoutchouc durci), les tissus épidermiques, cornes, ongles, peau sèche, les os, sont des corps mauvais conducteurs.

Cette classification étant admise, on comprend qu'un

bâton de verre tenu à la main peut s'électriser par frottement, les parties frottées étant séparées du corps par le verre lui-même.

Si on tient à la main une tige métallique, l'électricité développée aux points frottés s'écoule par le métal dans le corps et dans le sol bons conducteurs.

De même un homme isolé sur un tabouret en verre s'électrise quand on le frotte avec une peau de chat. Il ne s'électrise pas s'il communique avec le sol.

L'eau étant un bon conducteur, il faut avoir soin de maintenir autour des machines électriques une température suffisamment élevée.

L'air n'est pas meilleur conducteur lorsqu'il est humide, mais, la vapeur qu'il contient se condensant sur les plateaux de la machine et sur ses supports, l'électricité s'écoule par l'eau déposée sur eux.

Cette sécheresse de l'air peut encore être obtenue en entourant la machine d'une cage dans laquelle on place des substances desséchantes, telles que le chlorure de calcium fondu.

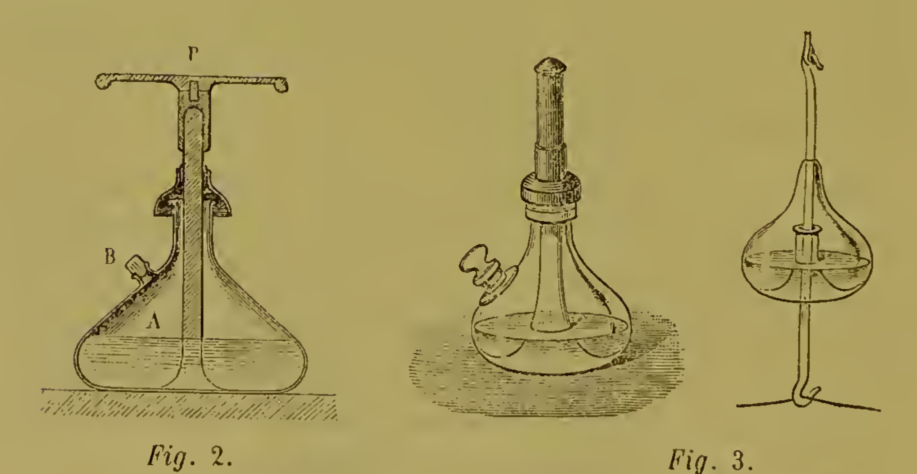


Fig. 2. *Fig.* 3.

Fig. 2. — Support de M. Mascart. Au centre, tige de verre portant un plateau métallique P, soudée à un vase en verre A, dans lequel l'acide sulfurique est introduit par l'ouverture B. — *Fig.* 3. — Formes diverses de supports isolants de M. Mascart.

M. Mascart a imaginé des supports en verre autour desquels l'air est maintenu bien sec par l'acide sulfurique (fig. 2 et 3).

Ils pourraient s'adapter aisément aux tabourets des machines médicales.

L'humidité se condense facilement sur le verre. On atténue cette condensation en recouvrant le verre des appareils électriques d'une couche de vernis à la gomme laque.

La paraffine constitue également un isolant excellent qu'on peut employer en blocs pour l'isolement des corps bons conducteurs.

5. — Applications médicales. — La peau sèche étant mauvaise conductrice, dans certaines conditions de sécheresse pathologique le seul frottement des vêtements suffit pour électriser la surface du corps. M. Féré a signalé en 1884 le cas d'une hystérique dont on pouvait tirer, dans certaines conditions, des aigrettes de 1 centim. de longueur. Le fils de cette femme, hystérique comme elle, avait également la propriété de manifester des phénomènes électriques très marqués.

M. Féré s'est assuré que la peau chez ces deux malades présentait un état de sécheresse extrême. Ces phénomènes lumineux sont connus depuis longtemps.

Les électriciens du siècle dernier les considéraient comme des manifestations de l'électricité développée dans le corps par le frottement des liquides et des solides.

« On voit des personnes qui font briller de la lumière et des étincelles lorsqu'elles se déshabillent pour se mettre au lit. Il en est d'autres à qui le feu sort des jambes lorsqu'elles courent (Thèse de Dufay, Montpellier, 1749).

Le D[r] Boudet fait également remarquer, que dans les frictions sèches avec la laine, la surface du corps s'électrise et l'électricité ainsi produite n'est probablement pas sans influence sur les résultats obtenus.

Parmi les corps qui s'électrisent facilement par le frottement, il faut citer les lames de collodion. Si l'on fixe par un de ses bords à un tube de verre une lame de collodion qu'on

laisse pendre comme un étendard, on électrise cette lame en l'agitant dans un air sec et chaud[1].

L'observation a montré qu'on faisait disparaître certains points anesthésiques chez les hystériques en les recouvrant d'une couche de collodion. Peut-être faut-il attribuer ce résultat au développement d'électricité produit par le frottement des vêtements sur le collodion desséché.

6. — Électricité positive. Électricité négative — L'électricité statique peut manifester sa présence par des effets opposés. On le démontre facilement au moyen du pendule électrique formé par une balle de sureau suspendue par un fil de soie à un support isolant.

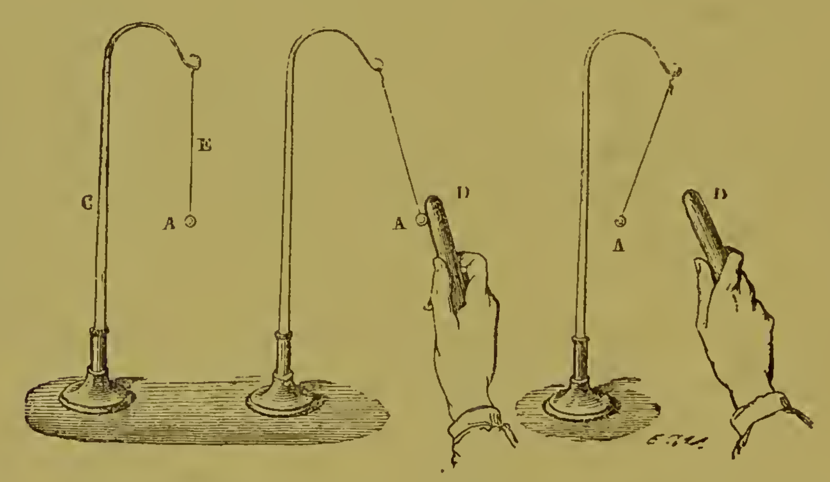


Fig. 4. *Fig.* 5.

Fig. 4. — Pendule électrique constitué par une balle de sureau A, fixée à un fil de soie E, rattaché à un support en verre *c*. Le corps électrisé D attire la balle de sureau A. — *Fig.* 5. — Le corps électrisé repousse la balle de sureau qu'il a d'abord attirée.

Le verre frotté avec de la laine attire la balle, qui se met en contact avec le verre et est ensuite repoussée. Un bâton de résine frotté avec de la laine attire la balle ainsi repoussée par le verre.

Pour expliquer ces effets contraires il est naturel de supposer que l'électricité se présente sous deux états différents dans lesquels elle peut produire des effets opposés.

[1] Gripon ; *Journal de physique*, pag. 201, 1875.

On les désigne sous les noms d'électricité positive et d'électricité négative.

Le verre frotté avec de la laine se charge d'électricité positive. La résine frottée avec de la laine fournit de l'électricité négative.

7. — LES ÉLECTRICITÉS DE MÊME NOM SE REPOUSSENT. LES ÉLECTRICITÉS DE NOM CONTRAIRE S'ATTIRENT — Dans l'expérience précédente, la balle de sureau attirée par le bâton de verre est chargée d'électricité positive quand les deux corps sont en contact. La balle est repoussée par le verre chargé d'électricité de même nom. Le bâton de résine chargé d'électricité négative attire la balle de sureau électrisée positivement.

Si on approche l'un de l'autre deux pendules chargés de la même électricité ils se repoussent. Ils s'attirent s'ils sont chargés d'électricité de nom contraire.

8. — APPLICATIONS MÉDICALES. — Le malade étant mis en communication avec la machine, les cheveux chargés de la même électricité se repoussent. Ce sont autant de pendules qui divergent dans toutes les directions.

L'électricité positive et l'électricité négative paraissent avoir des actions physiologiques différentes. L'électricité positive serait calmante. L'électricité négative excitante.

Le Dr Larat[1] a constaté que certains nervosiques qui ne pouvaient pas supporter le bain d'électricité négative s'accommodaient très bien du bain positif.

Stein[2] insiste également sur les effets différents produits par les deux électricités positive et négative.

Il en donne comme preuves les phénomènes suivants qu'il a observés et qui ont été contrôlés par de nombreux médecins.

Un individu hypnotisable présentait à l'état de veille les phénomènes musculaires qu'il manifestait dans le sommeil hypnotique. En frottant avec la paume de la main et en

[1] Dr Larat; *Précis d'électrothérapie.*

[2] Die allgemeine Electrisation der menschlichen korpers.

allant du centre à la périphérie, le bras ou la jambe étendus, on obtenait la rigidité musculaire et une anesthésie complète. Les plus forts courants induits d'une bobine de Ruhmkorff n'étaient pas sentis, même quand on se servait de la brosse faradique. On pouvait enfoncer dans la peau et dans les muscles de longues aiguilles, sans que le sujet, auquel on avait bandé les yeux, accusât la moindre sensation. Mais, si on exerçait quelques frictions en allant de la périphérie au centre, c'est-à-dire de la pointe des doigts à l'épaule, la rigidité musculaire disparaissait et la sensibilité reparaissait complètement. Les mêmes expériences pouvaient être répétées sur le membre inférieur et sur les muscles des diverses parties du tronc. Si on mettait l'excitateur en communication avec le pôle positif de la machine et si on le promenait sur le bras étendu, on obtenait également les effets décrits plus haut pourvu que la friction fût faite du centre à la périphérie, c'est-à-dire de l'épaule à la pointe des doigts. Les muscles du bras entraient en rigidité cataleptique et le membre perdait toute sensibilité. Si on frottait en sens contraire avec l'excitateur, la rigidité disparaissait. Ce n'était pas à l'action mécanique résultant du frottement de l'excitateur qu'on devait attribuer les phénomènes ; car en répétant l'expérience avec le même excitateur sans le mettre en communication avec la machine on n'observait rien de particulier.

Si on mettait l'excitateur en communication avec le pôle négatif de la machine, la rigidité musculaire et l'anesthésie se produisaient quand la friction était faite de la périphérie au centre. On la faisait disparaître en frictionnant du centre à la périphérie. Les mêmes phénomènes s'observaient sur le membre inférieur aussi bien que sur le membre supérieur.

Ces expériences furent reprises sur d'autres individus hypnotisables et avec le même succès. On les répéta sur les mêmes sujets à l'état de sommeil hypnotique.

La friction faite de la tête aux pieds amenait la cata-

lepsie générale si l'excitateur était positif. On l'obtenait en frictionnant en sens contraire avec l'excitateur négatif.

La rigidité musculaire disparaissait si l'excitateur positif était promené des pieds à la tête et si l'excitateur négatif était promené en sens contraire.

Stein attribue l'état de malaise, d'excitabilité des personnes nerveuses au moment des orages, à la présence de l'électricité négative dans l'atmosphère, qui est généralement électrisé positivement. Il a observé les mêmes phénomènes chez les neurasthéniques soumis à l'action de l'électricité négative.

Nous devons ajouter également que d'autres observateurs tels que le Dr R. Vigouroux n'établissent aucune différence entre les effets produits par les deux électricités.

9 — Deux corps frottés l'un contre l'autre, se chargent d'électricité de nom contraire. — Dans le frottement d'un bâton de verre par un morceau de laine, le verre prend de l'électricité positive la laine de l'électricité négative. C'est ce qu'on peut reconnaître avec le pendule électrique.

Les quantités d'électricité positive et négative sont égales. Il n'y a pas création, il y a séparation des deux électricités.

Il n'y a pas de loi qui permette de prévoir la nature de l'électricité dont se chargeront deux corps frottés l'un contre l'autre. On a pu cependant ranger un certain nombre de corps dans un ordre tel, que, frottés avec ceux qui les suivent dans la liste, ils prennent de l'électricité positive; frottés avec ceux qui les précèdent, ils prennent de l'électricité négative : *Peau de chat. — Verre poli. — Drap de laine. — Plume. — Bois. — Papier. — Soie. — Gomme laque. — Résine.— Verre dépoli.*

10. — Hypothèses sur la nature de l'électricité. — Pour expliquer les phénomènes électriques, les anciens électriciens ont adopté deux hypothèses, l'hypothèse de Franklin, et l'hypothèse de Symmer. Le fondement de ces

hypothèses est que l'électricité est un fluide, c'est-à-dire une substance se déplaçant avec la plus grande facilité sur les corps conducteurs ayant au contraire pour les molécules des corps mauvais conducteurs une sorte d'adhérence qui gêne ses mouvements.

Hypothèse de Franklin. — Franklin admettait que les corps possèdent tous normalement une quantité déterminée de fluide électrique. Ils sont alors à l'état neutre ou naturel. Si on frotte deux corps l'un contre l'autre, une partie du fluide électrique de l'un des corps passe sur l'autre. Celui-ci est électrisé en plus ou positivement.

Le premier a perdu une partie de son électricité, il est électrisé en moins, ou négativement. Il n'y avait donc pour Franklin qu'un seul fluide. Toute addition d'électricité sur une région d'un corps place cette partie dans l'état électrique positif, toute soustraction la place dans l'état électrique négatif.

Hypothèse de Symner. — Il y a deux fluides, le fluide positif et le fluide négatif. Les deux fluides étant en égale quantité sur un corps, il est à l'état neutre. Si le fluide positif est prédominant, le corps est électrisé positivement, si c'est au contraire le fluide négatif qui est en excès, le corps est électrisé négativement. C'est ce qui arrive quand on frotte deux corps l'un contre l'autre. Le fluide positif de l'un des corps passe sur l'autre, il est électrisé positivement. Le fluide négatif du second corps passe sur le premier, qui est électrisé négativement.

Cette idée de fluide a peu à peu disparu des autres parties de la science. Nous admettrions donc plus volontiers une théorie dans laquelle l'électricité serait considérée comme un mouvement vibratoire des molécules ou de l'éther intermoléculaire.

Électricité et lumière. — Les expériences du Dr Hertz communiquées en 1889 démontrent que l'électricité se réfléchit, se réfracte et interfère comme la lumière.

Il résulte de ces expériences que l'électricité serait due comme la lumière à un mouvement vibratoire de l'éther.

Cette théorie est trop récente pour servir de base à nos explications.

Nous aurons recours à l'hypothèse de Symner en ne la considérant que comme un moyen commode pour expliquer les phénomènes observés.

11.—Système d'unités C. G. S.—Mesurer une grandeur, c'est, comme on le sait, la comparer à une grandeur de même espèce qu'on appelle son unité.

Les unités correspondantes aux diverses grandeurs pourraient être sans relation les unes avec les autres, l'unité de surface par exemple pourrait ne pas dépendre de l'unité de longueur. Les énoncés des théorèmes de la géométrie, des principes de la physique, les formules qu'on en déduit, seraient alors très compliqués.

On appelle système d'unités absolues un système d'unités choisies de telle façon que les énoncés des théorèmes et des principes, que les formules qui les expriment prennent le plus haut degré de simplicité. On démontre facilement que dans un pareil système toutes les unités peuvent être rattachées à trois unités. On appelle unités fondamentales les trois unités auxquelles se rattachent toutes les autres. — Celles ci sont appelées unités dérivées. Ces trois unités fondamentales peuvent, du reste, être choisies arbitrairement.

Le congrès des électriciens réuni en 1881 a adopté comme unités fondamentales :

1° L'unité de longueur.— C'est le centimètre, c'est-à-dire la centième partie du mètre étalon déposé aux archives nationales ;

2° L'unité de masse, c'est le gramme masse : on appelle ainsi la masse d'un centimètre cube d'eau distillée à 4 degrés.

3° L'unité de temps, c'est la seconde, c'est-à-dire la 86,400° partie du jour solaire moyen.

Citons un certain nombre d'unités dérivées : nous appren-

drons successivement à connaître toutes celles qui nous sont nécessaires.

L'unité de surface, c'est la surface ayant pour côté le centimètre ou le centimètre carré.

L'unité de volume, c'est le cube ayant pour côté le centimètre ou le centimètre cube.

L'unité de vitesse est une longueur, c'est le centimètre. L'unité d'accélération, c'est l'accélération d'un mobile dont la vitesse est égale à 1 centimètre après une seconde de marche.

Cela résulte de la formule connue.

$$V = g\,t.$$
$$g = 1 \text{ si } V = 1.\ t = 1.$$

L'unité de force, c'est la force qui imprime au gramme masse l'unité d'accélération.

Cette définition de l'unité de force se déduit de la formule connue:

$$F = m\,g.\ F = 1 \text{ si } m = 1.\ g = 1.$$

On a donné à cette unité dérivée le nom de dyne.

L'unité de travail, c'est le travail d'une dyne déplaçant son point d'application de 1 centimètre dans sa direction.

Cette définition résulte de la formule $T = F \times H$ dans laquelle

$$T = 1 \text{ si } F = 1.\ H = 1.$$

Cette unité dérivée porte le nom d'erg.

Le système d'unités dans lequel les trois unités fondamentales sont le centimètre, le gramme masse, et la seconde est désigné souvent sous le nom de système C G S.

Les unités dérivées sont ou trop petites ou trop grandes pour beaucoup d'applications. On emploie plus commodément des unités pratiques dont les rapports avec les unités dérivées du système sont déterminés une fois pour toutes.

Ainsi la dyne est une unité trop petite.

Dans les applications on conserve comme unité de force le gramme, qui vaut, comme un calcul très simple permet

de l'établir, 980,88 dynes ou très approximativement 1,000 dynes.

Réciproquement, une dyne vaut sensiblement 1 milligr.

De même on prend généralement dans les applications comme unité le kilogrammètre, qui vaut sensiblement 10^8 ergs.

Il est toujours très facile d'exprimer la valeur d'une grandeur en unités du système C G S, connaissant le nombre qui exprime cette grandeur en unités pratiques ou réciproquement. Il suffit d'écrire que les nombres qui expriment une même grandeur sont en raison inverse des unités.

Ainsi nous trouverons facilement en ergs la valeur d'un travail égal à 500 kilogrammètres.

Ce travail étant désigné par x nous écrirons :

$$\frac{x}{500} = \frac{10^8 \text{ ergs}}{1 \text{ erg}} \text{ d'où } x = 10^8 \times 500 \text{ ergs.}$$

On emploie souvent pour désigner les multiples et les sous-multiples des unités dérivées les préfixes méga, qui veut dire un million, et micro, qui veut dire un millionième.

Ainsi la mégadyne vaut un million de dynes. C'est très sensiblement une force égale à un kilogramme.

La microdyne vaut au contraire un millionième de dyne.

12. — Unité dérivée de quantité d'électricité électro-statique. — Les expériences les plus simples démontrent que l'électricité doit être considérée comme une grandeur susceptible d'augmentation ou de diminution.

Deux corps chargés de la même électricité placés à la même distance d'un pendule électrique produisent sur celui-ci des attractions ou des répulsions différentes. Il faut donc que les quantités d'électricités qui sont sur les deux corps soient inégales.

Une personne adulte et un enfant étant placés successivement sur un tabouret isolant, en communication avec une machine électrique fonctionnant dans les mêmes conditions, nous admettrons facilement que l'équilibre étant

établi ils ne possèdent pas la même quantité d'électricité.

Pour mesurer les diverses charges d'électricité, il faut adopter une unité.

L'*unité électro-statique de quantité est la quantité d'électricité qui, agissant sur une masse égale d'électricité placée à une distance égale à un centimètre, produit une attraction ou une répulsion égale à une dyne.*

On lui donne le nom d'unité électro-statique parce qu'elle se rattache à la loi fondamentale, établie par Coulomb, sur les attractions et les répulsions électriques, l'électricité étant obtenue par frottement.

Les attractions et les répulsions qui s'exercent entre deux points électrisés sont proportionnelles à leurs charges et varient en raison inverse du carré de la distance qui les sépare. Cette loi a été vérifiée par Coulomb dans des conditions particulières au moyen de l'instrument qu'on appelle la balance électrique.

Elle s'exprime par la formule $f = \frac{q q'}{r^2}$. f étant la force attractive ou répulsive, q et q' les charges, f et r la distance qui les sépare.

$$\text{Si } q = q' \; f = \frac{q^2}{r^2} \text{ d'ou } q = r\sqrt{f}$$

$$q = 1 \text{ si } r = 1 \; f = 1$$

L'unité électro-statique de quantité est beaucoup trop faible.

L'unité pratique est le *Coulomb*, qui vaut 3×10^9 l'unité électro-statique.

De sorte qu'une quantité d'électricité égale à 100 unités électrostatiques vaut, en faisant la transformation comme nous l'avons dit tout à l'heure

$$\frac{100}{3 \times 10^9} \text{ Coulombs}$$

les nombres qui expriment une grandeur étant en raison inverse de l'unité adoptée.

On emploie souvent le micro-coulomb, qui vaut un millionième d'un coulomb.

13. — L'ÉLECTRICITÉ SE PORTE A LA SURFACE DES CORPS CONDUCTEURS. — Nous n'avons pas à insister sur cette propriété si connue de l'électricité statique et que démontrent les expériences élémentaires les plus variées.

Le médecin n'oubliera pas que l'électricité développée dans sa machine est à la surface des conducteurs, que de là elle est conduite par une tige conductrice sur le tabouret isolant et sur le malade isolé par le tabouret.

Les corps mauvais conducteurs sont au contraire pénétrés par l'électricité avec une lenteur d'autant plus grande qu'ils sont plus mauvais conducteurs. On frotte avec de la laine un cylindre d'acide stéarique. Il se charge d'électricité négative. On enlève la couche superficielle avec de l'alcool. Le cylindre ne paraît plus électrisé tout d'abord. Mais au bout de quelque temps on constate que la surface est de nouveau électrisée négativement. Cette électricité ne peut être que l'électricité négative, qui a pénétré dans l'intérieur du cylindre et qui est ensuite revenue à la surface.

Le malade, placé sur le tabouret isolant, est généralement recouvert de vêtements en laine. L'électricité des machines à potentiel élevé pénètre facilement cette lame isolante mince pour se répandre sur la surface conductrice du corps placé au-dessous.

14. — DENSITÉ ÉLECTRIQUE. — L'électricité répandue à la surface des corps conducteurs n'a pas toujours une distribution uniforme. On appelle densité électrique moyenne sur une surface s le quotient de la quantité d'électricité qui s'y trouve par la surface. En désignant par μ la densité électrique moyenne sur une surface s qui possède une charge q,

$$\mu = \frac{q}{s}$$

Si on imagine que la surface décroisse de plus en plus, à la limite elle se réduit à un point et on appelle densité en ce point la limite vers laquelle tend l'expression précédente.

Coulomb a mesuré la densité électrique aux divers points d'un conducteur. Il se servait pour cela du plan d'épreuve, petit disque de clinquant soutenu par un support isolant. Quand ce plan d'épreuve touche une portion d'un corps électrisé, l'électricité qui se trouve aux points touchés se répand sur la surface du disque qu'on peut considérer comme s'étant substitué à une certaine surface du corps conducteur. La balance de Coulomb lui permettait de mesurer la charge ainsi emportée, et en divisant par la surface du plan d'épreuve il obtenait la densité moyenne aux points touchés.

Il a ainsi trouvé que la densité n'est constante qu'aux divers points d'une sphère. Sur un cylindre la densité, nulle au milieu du cylindre, ne prend une valeur appréciable qu'à une certaine distance du milieu. Elle croît ensuite jusqu'aux extrémités du cylindre, où la densité est maximum.

Résultats analogues pour un disque métallique.

15. — Propriétés des pointes. — La densité n'étant constante que sur une sphère, on comprend qu'elle est loin d'avoir partout la même valeur sur le corps humain électrisé.

Coulomb a également déterminé la valeur de la densité électrique aux divers points d'un ellipsoïde. Il a trouvé qu'aux extrémités des trois axes la densité était proportionnelle à la longueur des axes. Or une pointe peut être considérée comme une portion d'ellipsoïde dont aurait augmenté indéfiniment la longueur du grand axe. On comprend donc que la densité électrique doit être très grande aux extrémités d'une pointe. Or l'électricité répandue sur un corps peut être considérée comme formée de molécules qui se repoussent mutuellement quand elles appartiennent à une électricité de même nom. Les molécules qui se repoussent exercent sur le milieu ambiant une pression analogue à celle d'un gaz comprimé dans une enveloppe. Si la pression exercée par le gaz l'emporte sur la résistance de l'enveloppe, les molécules gazeuses s'échappent au dehors.

Le calcul démontre que la pression électrique en un point est

$$P = 2\pi\mu^2$$
$$\pi = 3,1415 ;$$

μ densité électrique de ce point, P la pression.

Sur une pointe la densité ainsi que la pression sont très grandes.

Le milieu extérieur se laisse pénétrer par l'électricité, qui s'écoule comme on le dit de la pointe. A cause de ces propriétés des pointes, il importe que les tabourets isolants sur lesquels sont placés les malades aient leurs angles bien arrondis.

Les cheveux du malade, les poils de son corps, constituent autant de pointes par lesquelles l'électricité s'écoule dans le milieu extérieur. L'air est ainsi électrisé et repoussé. Il est remplacé par de nouvelles portions du même fluide qui s'électrisent à leur tour et s'éloignent de la surface du corps. C'est le mouvement de l'air qu'on appelle le vent électrique. Il provoque sur le visage une sensation comparable à celle que produirait le frolement d'une toile d'araignée.

L'écoulement de l'électricité est accompagné de phénomènes lumineux très visibles dans l'obscurité et qu'on désigne sous le nom d'aigrettes. Si c'est de l'électricité positive qui s'écoule de la pointe, l'aigrette est constituée par un pédoncule duquel se détache une gerbe lumineuse étalée en éventail. Si c'est de l'électricité négative qui s'écoule, l'aigrette se réduit à une étoile brillante qui paraît reposer sur la pointe

Nous verrons plus loin l'utilité de cette remarque.

16. — Application médicale. — Les pointes ont une très grande importance dans les applications thérapeutiques. Elles sont en métal ou en bois et servent à obtenir ce qu'on appelle le souffle et l'aigrette.

CHAPITRE II.

INFLUENCE ÉLECTRIQUE.

---

17. — Procédés employés pour obtenir l'électricité statique. — On fournit de l'électricité statique à un corps :

1° En le frottant. Un individu étant placé sur le tabouret isolant, il suffit de le battre avec une peau de chat pour qu'il soit électrisé.

2° En le mettant en communication avec une source électrique.

Disons dès à présent que nous appelons source électrique tout appareil donnant naissance à de l'électricité et réparant incessamment les pertes qu'il peut subir.

C'est ainsi que s'électrise le malade isolé, mis en communication avec une machine électrique au moyen d'une tige conductrice.

3° En le plaçant à une certaine distance d'un corps électrisé. L'électricité ainsi développée s'appelle électricité par influence ou quelquefois électricité induite.

18. — Expérience classique.— Rappelons l'expérience classique qui permet l'observation du phénomène.

Devant une sphère isolée mise en communication avec une machine électrique on place un cylindre conducteur portant des pendules électriques dans ses diverses régions. On constate que les pendules des extrémités B et C diver-

gent seuls, tandis que les pendules de la région moyenne restent en repos (fig. 6).

Le corps électrisé A étant chargé positivement, si on approche un bâton de verre frotté avec de la laine des pendules B, on observe une attraction ; c'est une répulsion qui se produit si on approche le bâton de verre des pendules C. Donc l'extrémité B est électrisée positivement et l'extrémité C négativement.

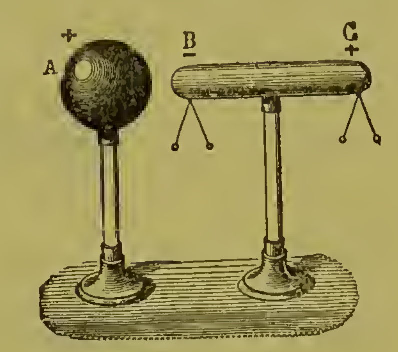


Fig. 6. — Expérience démontrant la production d'électricité par influence.

Ces phénomènes s'expliquent facilement dans la théorie des deux fluides en disant que sous l'influence de l'électricité positive de A le fluide neutre du cylindre a été décomposé. L'électricité de nom contraire, c'est-à-dire la négative, a été attirée à l'extrémité du cylindre B, la plus rapprochée de A, l'électricité de même nom, c'est-à-dire la positive ayant au contraire été repoussée à l'extrémité du cylindre la plus éloignée C, de sorte que dans la partie moyenne il n'y a pas d'électricité. C'est la zone ou ligne neutre des électriciens.

La limite de décomposition du fluide neutre est atteinte lorsque la force attractive des fluides séparés égale la force qui tend à les séparer.

19. — Le corps influencé est mis en communication avec le sol. — Si on touche un point quelconque du cylindre, c'est-à-dire si on le met en communication avec le sol (fig. 7), les pendules C retombent, alors que les pendules B divergent davantage. C'est que le cylindre, le corps et le sol forment alors un conducteur unique de longueur infinie et l'électricité positive étant repoussée à l'extrémité du conducteur, c'est-à-dire à l'infini, la portion C du cylindre appartient à la ligne neutre.

Les pendules B divergent davantage parce que, l'élec-

tricité positive étant refoulée très loin, son attraction pour l'électricité négative de C diminue, de sorte qu'une nou-

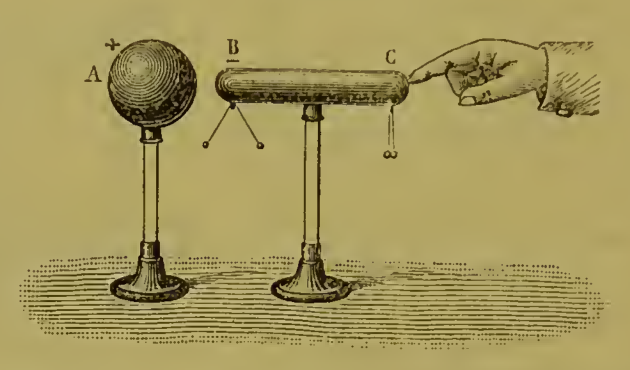


Fig. 7. — Expérience: Le corps influencé, mis en communication avec le sol, possède une électricité de nom contraire à celle du corps influençant.

velle portion du fluide neutre peut être décomposée jusqu'à ce qu'il se produise un nouvel état d'équilibre.

Dans le cas actuel, il est facile de démontrer que les charges séparées d'électricité positive et négative sur le cylindre sont en moindre quantité que l'électricité positive de la source.

Il n'en est pas ainsi quand le corps soumis à l'influence entoure complètement le corps électrisé.

Faraday a démontré que dans ce cas les quantités d'électricité séparées sur le corps influencé sont égales à celle qui se trouve sur le corps influençant, de telle sorte que, si le premier est mis en communication avec le sol, il possède une quantité d'électricité de nom contraire, égale à celle que possède le corps qui agit par influence.

C'est ainsi que la machine électrique en communication avec le malade isolé constitue avec celui-ci une source qui développe par influence une quantité d'électricité égale à la sienne sur les corps voisins, y compris les murs de la chambre.

20.— Écran électrique.— Un conducteur en communication avec le sol placé devant un corps électrisé joue le rôle d'écran.

Le corps électrisé positivement A développant par influence sur B en communication avec le sol de l'électricité négative, ces électricités de nom contraire détruisent mutuellement leurs effets sur un conducteur C (fig. 8) qui reste à l'état neutre.



Fig. 8. — Écran électrique.

Les murs d'une chambre pouvant être considérés comme des conducteurs en communication avec le sol, on comprend que tout corps placé au dehors sera soustrait à l'influence des corps électrisés qui pourraient se trouver à l'intérieur.

Les constructeurs utilisent aujourd'hui cette propriété en disposant autour d'un certain nombre d'appareils électriques les électromètres, par exemple, des enveloppes métalliques qui sont en communication avec le sol. Les corps légers et mobiles placés dans ces appareils sont ainsi soustraits à l'influence des corps électrisés placés dans le voisinage.

21. — Applications médicales. — Les phénomènes d'influence interviennent dans la plupart des applications médicales de l'électricité statique.

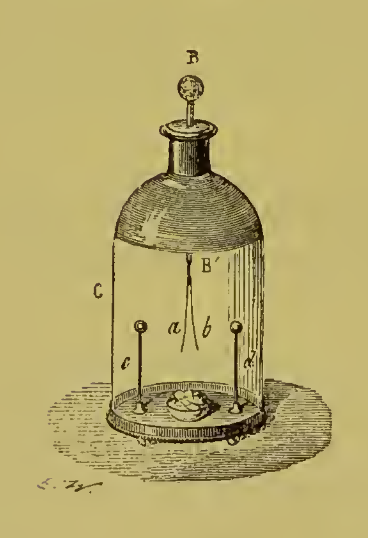
Lorsque le médecin approche du corps du malade, en communication avec la machine et isolé, un excitateur métallique relié au sol, celui-ci est influencé par le corps électrisé. De l'électricité de nom contraire est attirée sur la partie de l'excitateur la plus voisine du corps du malade, l'électricité de même nom disparaît dans le sol. Les deux électricités de nom contraire en présence exercent, comme nous l'avons dit, une pression sur la couche d'air intermédiaire, et, lorsque l'épaisseur de la couche est insuffisante pour résister à cette pression, les électricités de nom contraire se réunissent en donnant naissance à un phénomène lumineux et calorifique qu'on appelle l'étincelle.

Si l'excitateur au lieu d'être arrondi à son extrémité,

comme cela a lieu ordinairement, est terminé par une pointe, il se produit encore des décharges entre le corps et la pointe influencée, mais, au lieu de se produire à intervalles appréciables, elles ont lieu d'une façon continue. Le malade éprouve alors une sensation de souffle due à l'air repoussé par la pointe.

22. — Électroscopes et électromètres. — Les électroscopes sont des appareils qui servent à reconnaître la présence de l'électricité et son signe. Ce sont des électromètres quand une graduation, une disposition spéciale permet de mesurer le déplacement de la partie mobile.

23. — Électroscope ordinaire. — L'électroscope ordinaire (fig. 9) se compose d'une tige métallique terminée à



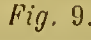


Fig. 9.

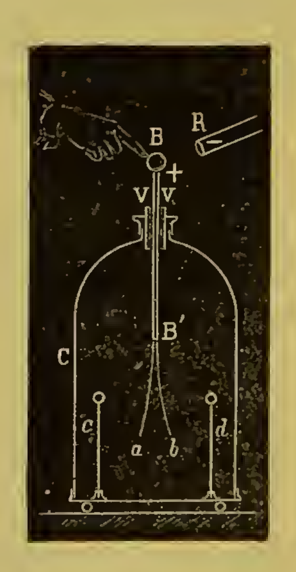


Fig. 10.

Fig. 9. — Électroscope ordinaire. — *Fig.* 10. — Charge de l'électroscope : On approche du bouton B, mis en communication avec le sol par le doigt, un bâton de résine R, électrisé négativement. Le corps électrisé étant éloigné et la communication avec le sol étant supprimée, l'électroscope reste chargé d'électricité positive.

une extrémité par un bouton et à l'autre par des corps aussi légers et aussi mobiles que possible. On emploie avantageusement des feuilles d'aluminium. La tige métal-

lique est isolée et les feuilles sont mobiles dans une enveloppe cylindrique en verre reposant sur un plateau métallique. Des tiges conductrices disposées dans le plan d'oscillation des lames communiquent avec le plateau. Ces tiges augmentent la déviation, et c'est contre elles que se déchargent les lames électrisées, si la déviation devient trop grande.

Un corps électrisé étant approché du bouton de l'électroscope, les lames mobiles divergent.

Pour reconnaître la nature de l'électricité on donne aux lames une électricité connue (fig. 10).

Le corps électrisé étant approché avec lenteur du bouton, deux cas se présentent : 1° il y a rapprochement puis écartement des lames ; 2° il y a divergence des lames de plus en plus grande.

Dans le premier cas, le corps possède une électricité de nom contraire à celle de l'électroscope. Dans le deuxième, le corps a une électricité de même nom.

24. — Électroscope de Bohnenberger. — Cet électroscope, très sensible, est une modification du précédent.

La tige métallique de l'électroscope ordinaire est terminée par une seule lame d'or qui se déplace entre les pôles de noms contraires de deux piles sèches de Zamboni, formées par la superposition de disques de papier recouverts d'étain d'un côté et de bioxyde de manganèse en poudre de l'autre.

Si la lame de l'électroscope est électrisée, elle est attirée par le pôle de la pile qui possède une électricité de nom contraire. On peut donc constater simultanément la présence et la nature de l'électricité.

25. — Électroscope de Ducretet. — M. Ducretet a construit dans ces derniers temps un électroscope peu sensible mais qui peut, à cause même de son défaut de sensibilité, rendre des services quand il s'agit de reconnaître le

signe de l'électricité fournie par une source puissante telle qu'une machine électrique.

Il comprend une lame plate en ébonite qui est soutenue par un étrier EE mobile autour d'un axe horizontal XX porté

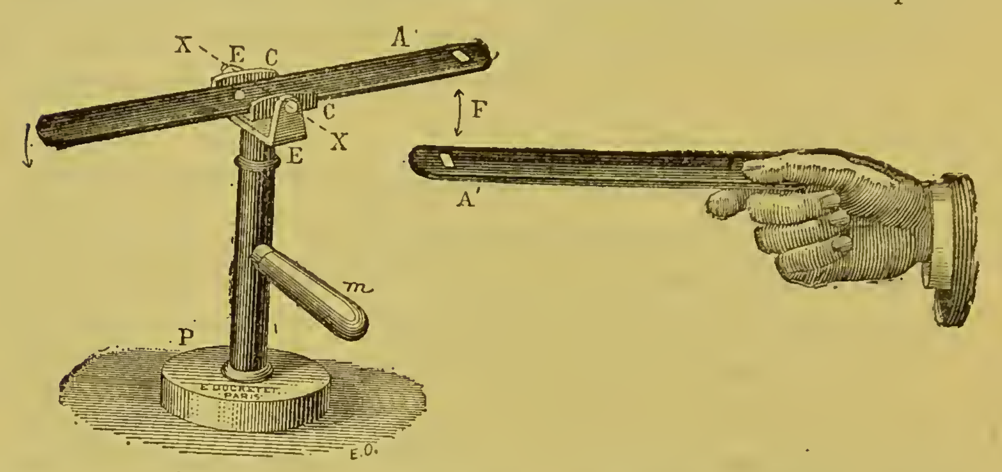


Fig. 11. — Électroscope de Ducretet. — Le bâton d'ébonite A′ électrisé négativement repousse l'extrémité A à laquelle on a donné par frottement de l'électricité négative.

par des supports rattachés à un pied P qu'on peut déplacer à l'aide d'une manette *m* (fig. 11).

La lame d'ébonite constitue un véritable fléau de balance, et lorsqu'elle est portée par son étrier elle est horizontale. L'une des extrémités de la lame présente le signe ▭.

Pour se servir de l'électroscope on enlève la lame d'ébonite et on frotte l'extrémité marquée contre un morceau de laine, sous l'aisselle, si on a un vêtement de drap. L'électroscope est électrisé négativement. On remet la lame sur son étrier.

Si comme l'indique la figure on approche de l'extrémité de la lame électrisée négativement un corps électrisé négativement, il y a répulsion. Il y aurait attraction si le corps était électrisé positivement.

Au lieu d'opérer comme nous venons de le dire on peut prendre l'électroscope par le manche *m* et approcher l'extrémité de la lame électrisée négativement du conducteur d'une machine électrique. Il y aura attraction ou répulsion suivant que le conducteur sera électrisé positivement ou négativement.

Les anciens électroscopes étaient appelés électromètres, quand ils portaient une graduation qui permettait d'apprécier l'angle d'écartement des lames mobiles.

26.— Électromètre de Henley.— Un de ces électromètres qui peut rendre de bons services comme nous le dirons plus loin dans les applications médicales, est l'électromètre de Henley (fig. 12). Il est constitué par une tige conductrice portant un cadran divisé en ivoire sur lequel se déplace un pendule mobile autour d'un axe passant par le centre du cadran. Lorsque l'appareil n'est pas électrisé, le pendule est vertical ; si on le met en communication avec une source électrique, l'électricité de la tige conductrice et celle du pendule se repoussant, celui-ci subit une déviation d'autant plus grande que la machine est plus fortement chargée.

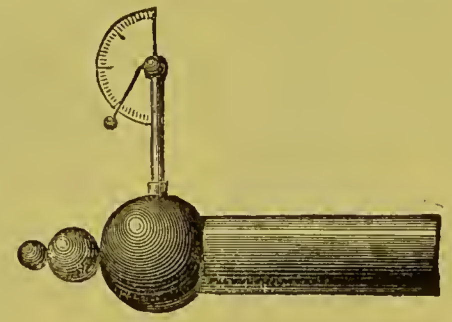


Fig. 12.— Électromètre de Henley.

27 — Électromètre de Thomson modifié par Branly.— Cet appareil sert surtout à mesurer le potentiel des corps électrisés, mais il peut aussi servir à reconnaître la présence et la nature de l'électricité, et à ce titre nous croyons devoir le décrire ici.

Comme dans tous les électromètres, nous pouvons distinguer une partie mobile et une partie fixe.

La partie mobile est une lame en aluminium AB (fig. 13) à laquelle on donne la forme d'un 8, qui est soutenue par un fil très fin en platine F rattaché par une pince à la borne C de l'électromètre. La lame se meut dans un plan horizontal et elle porte une tige métallique sur la partie inférieure de laquelle on peut fixer perpendiculairement de petites lames de platine qui plongent dans un godet contenant de l'acide sulfurique. Cette disposition est doublement avantageuse. Les oscillations de la partie mobile sont rapi-

dement amorties à cause de la viscosité de l'acide et l'air de la cage de l'électromètre est desséché.

La partie fixe est constituée par 4 secteurs, 1, 2, 3, 4

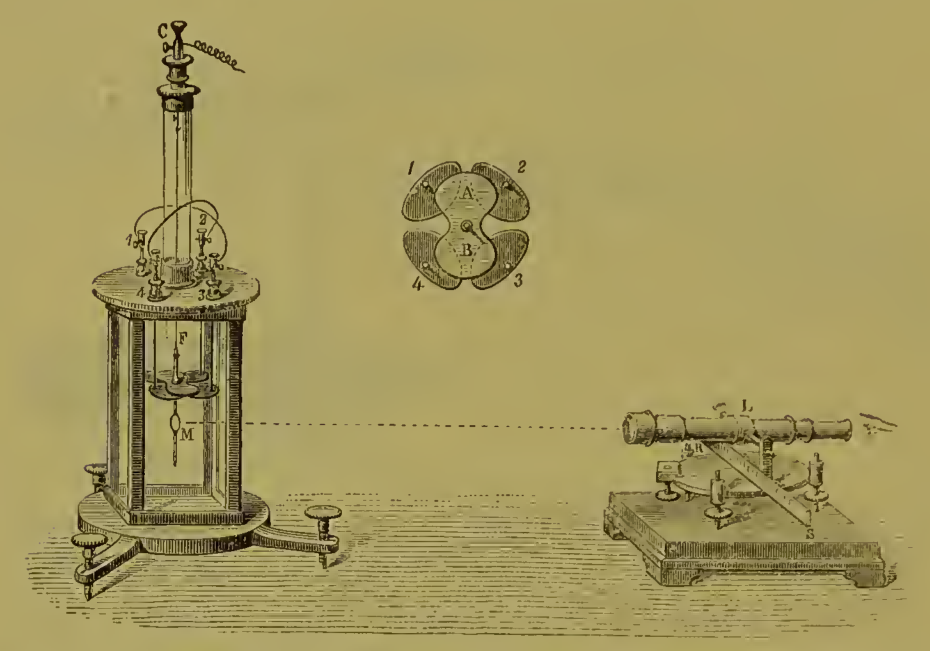


Fig. 13.— Électromètre de Branly.— L'aiguille mobile est reliée au miroir plan M et les observations se font avec la lunette 4.

ou par une boîte cylindrique divisée en 4 secteurs dans l'intérieur de laquelle la lame d'aluminium est mobile. Dans tous les cas, les secteurs impairs (1 et 3) et pairs (2 et 4) communiquent entre eux. Pour cela, comme le montre la figure, les secteurs sont reliés aux bornes 1, 2, 3, 4, portées par la cage de l'instrument, et des fils métalliques relient (1, 3), (2 4).

La cage est formée de deux parties, la partie inférieure, dans laquelle se trouvent les secteurs et la partie supérieure, dans laquelle passe le fil de platine qui soutient la lame d'aluminium. La partie inférieure a une section plus grande que la partie supérieure. Elle soutient la seconde et elle est elle-même soutenue par un pied muni de vis calantes.

Dans les premiers électromètres la partie inférieure de la cage avait des parois en verre. Actuellement, c'est un

cylindre métallique qu'on relie au sol et qui joue, comme nous l'avons dit, le rôle d'écran. Une plaque de verre enchâssée dans une ouverture circulaire du cylindre permet l'observation des déviations de la lame.

28. — Réglage et charge de l'électromètre. — Pour se servir de l'électromètre, il faut commencer par le régler et par le charger. On le règle en déplaçant l'appareil jusqu'à ce que les axes de symétrie de la lame mobile coïncident avec les lignes de séparation des secteurs. On y arrive en agissant sur les vis calantes

Pour le charger, on peut employer le procédé suivant : Les secteurs impairs sont reliés à l'un des pôles, au pôle positif, par exemple, d'une pile. Les secteurs pairs communiquent avec l'autre pôle.

La pile que l'on emploie est formée d'éléments, zinc, cuivre, eau ordinaire, montés en série. La pile comprend un nombre pair d'éléments, soit 50. Le milieu de la pile est relié au sol.

Dans ces conditions, les secteurs impairs sont électrisés positivement et les secteurs impairs négativement.

Supposons qu'un corps électrisé positivement, par exemple, soit en communication par un fil long et fin avec le bouton C de l'électromètre qui communique avec la lame d'aluminium. Les secteurs électrisés négativement attireront la lame mobile, les secteurs électrisés positivement la repousseront, et ces actions seront concordantes pour produire une déviation dans un sens déterminé. La déviation se produirait en sens contraire si la lame était électrisée négativement.

29.— Mesure des déviations. — Il reste maintenant à expliquer comment on mesure les déviations.

On emploie le procédé indiqué par Poggendorff et qui est appliqué aujourd'hui à la plupart des appareils de mesure. A la lame mobile est rattaché un miroir qui tourne en même

temps qu'elle (voir fig. 13). Lorsqu'on lit les déviations avec une lunette L, on emploie un miroir plan M. On se sert d'un miroir concave quand on lit directement les déviations sur une échelle divisée. Dans le premier cas, on dispose devant le miroir une règle divisée dont les chiffres sont renversés.

Une lunette L dont l'axe optique se déplace dans un plan perpendiculaire à la règle est munie d'un réticule dont un des fils est vertical. La lame étant en communication avec la terre, on observe par exemple dans le miroir l'image du O de la règle. Met-on l'aiguille en communication avec un corps électrisé, elle est déviée avec le miroir, et c'est par exemple la division 10 qui est en coïncidence avec le fil vertical du réticule.

Les déviations étant toujours très petites, on démontre qu'on peut prendre pour mesure de l'angle de déviation la déviation lue sur la règle par le procédé que nous venons d'indiquer. Nous dirons que la déviation correspond à 10 divi-

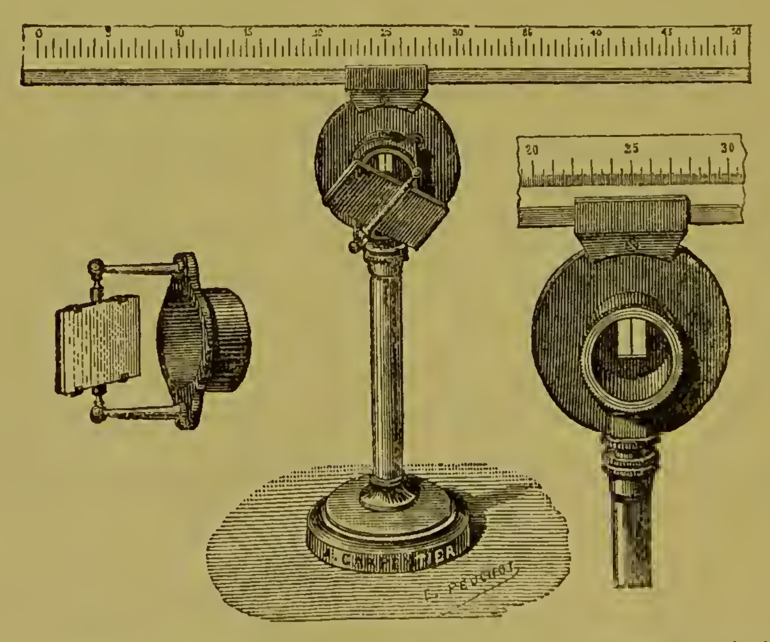


Fig. 14. - Règle en celluloïde sur laquelle se projette l'image de l'ouverture rectangulaire traversée par un fil vertical. Le miroir porté par le pied de la règle sert à projeter sur l'ouverture les rayons d'une lampe ou d'une bougie placée latéralement.

sions de la règle ou plus rapidement qu'elle est égale à 10.

Dans un deuxième procédé d'observation, on emploie une règle divisée, transparente, en verre ou en celluloïd (fig. 14), au-dessous de laquelle est une ouverture circulaire ou rectangulaire dans laquelle est tendu un fil vertical. L'ouverture est éclairée par un miroir plan sur lequel tombent les rayons d'une lampe. Les rayons lumineux réfléchis traversent l'ouverture et sont reçus par un petit miroir sphérique rattaché à la lame d'aluminium. Conformément à la théorie, l'ouverture étant placée à une distance du miroir égale au double de sa distance focale, le miroir en donne une image qui lui est égale et qui se forme à une distance du miroir, égale aussi au double de la même distance. Elle apparaît sur la règle sous forme d'un disque ou d'un rectangle lumineux (suivant la forme de l'ouverture) traversé par un trait noir qui se détache nettement. Les déplacements de ce trait sur la règle permettent de suivre avec la plus grande facilité les déviations de l'aiguille.



Fig. 15. — Marche des rayons lumineux. — Un rayon lumineux pc qui fait avec la normale un angle α donne un rayon réfléchi faisant avec la même normale un angle α. L'image de p est en n au point de rencontre des rayons réfléchi et de l'axe secondaire qui se confond sensiblement avec pn. EE' échelle divisée.

La figure 15 fait bien comprendre la marche des rayons lumineux. L'ouverture lumineuse correspond au poind p, son image est en n.

30. — Observation continue des déviations de l'électromètre. — Pour observer d'une façon continue les déviations de l'électromètre, on amène l'image réelle d'un point lumineux fournie par le miroir à se former sur une feuille de papier sensibilisée qui se déplace au moyen d'un

mouvement d'horlogerie. Le papier est impressionné au point où se forme l'image. La série des points impressionnés forme une courbe que l'on fait apparaître à l'aide de procédés photographiques. L'observation de cette courbe permet de suivre la marche de la déviation pendant un temps déterminé, aussi facilement que l'observation d'une courbe thermométrique permet au médecin de suivre la marche de la température dans le cours d'une maladie fébrile.

CHAPITRE III.

NOTIONS D'ÉLECTROMÉTRIE.

---

31. — Équilibre électrique. — Un corps ou un système de corps sont en équilibre électrique quand l'électricité dont ils sont chargés ne se déplace ni dans un sens ni dans l'autre.

Au point de vue pratique, il y a équilibre quand les divers points du corps ou du système, étant mis en communication par un fil long et fin avec la partie mobile d'un électromètre, le déplacement est toujours le même.

Nous disons également qu'un corps ou un système de corps sont en équilibre calorifique quand leurs divers points, étant mis en communication avec un thermomètre, la colonne de mercure s'arrête toujours à la même position.

32. — Potentiel et température. — On appelle température d'un corps un nombre qui se déduit de l'observation du thermomètre gradué d'après certaines conventions arbitraires.

Nous appellerons de même potentiel d'un corps un nombre qui se déduit des indications de l'électromètre gradué.

Ce que l'on mesure avec le thermomètre, ce n'est pas la température absolue, c'est l'excès positif ou négatif de la température du corps sur celle de la glace fondante que l'on prend pour température zéro.

L'électromètre ne permet également de mesurer que l'excès du potentiel d'un corps sur le potentiel de la terre que l'on prend pour potentiel zéro.

Les températures sont positives ou négatives, suivant que la colonne mercurielle se déplace dans un sens ou dans l'autre à partir du zéro.

Le potentiel est positif ou négatif, suivant que les déplacements de la partie mobile de l'électromètre se font dans un sens ou dans l'autre à partir de la position qui correspond au potentiel zéro.

Au point de vue pratique, la déviation positive est celle de l'électromètre en communication avec le pôle positif d'une pile.

Si deux points d'un corps ou d'un système de corps ne sont pas à la même température, il n'y a pas équilibre calorifique. La chaleur se déplace des points où la température est la plus élevée vers les points où elle est la plus basse.

De même si deux points d'un corps ou d'un système de corps en communication les uns avec les autres sont à des potentiels différents, il y a mouvement électrique des points où le potentiel est le plus élevé vers les points où le potentiel est le plus bas.

Nous voyons qu'il y a de très grandes analogies entre les notions de température et de potentiel, ce que l'on exprime quelquefois en disant que le potentiel en un point c'est la température électrique en ce point.

Nous pouvons donc, calquant la définition du potentiel sur celle de la température, dire : *Le potentiel d'un point électrisé est un nombre qui se déduit des indications de l'électromètre mis en communication avec ce point.*

Deux points pour lesquels ce nombre est le même sont en équilibre électrique. Deux points pour lesquels ce nombre est différent ne sont pas en équilibre et il y a mouvement de l'électricité des points auxquels correspond le nombre le plus grand vers ceux pour lesquels il est le moins élevé.

33. — Mesure du potentiel en un point. — Pour mesurer le potentiel en un point on le compare à un potentiel unité.

Pour arriver à la notion de l'unité de potentiel nous

sommes obligés de dire un mot de la manière dont on envisage le potentiel au point de vue mathématique.

Le potentiel en un point est en réalité une fonction algébrique introduite dans la science par Green au commencement du siècle. En chaque point d'un corps électrisé cette fonction a une valeur déterminée, constante dans le cas où il y a équilibre.

On appelle *champ électrique* une portion de l'espace telle que si on y introduit un point électrisé il est soumis à des forces électriques.

Dans le champ électrique sont réparties des masses électriques positives ou négatives.

Cela posé, prenons dans le champ un point A chargé de l'unité d'électricité positive.

On appelle potentiel en ce point la somme des quotients des diverses charges $m\ m'\ m''$ par leurs distances aux points considérés.

Ainsi si en A dans le champ se trouve l'unité d'électricité positive, en B. C des masses électriques $m\ m'\ m''$ le potentiel au point A est

$$V = \frac{m}{r} + \frac{m'}{r'} + \frac{m''}{r''} + \ldots\ldots\ldots = \Sigma \frac{m}{r}$$

m, m', m'' étant positifs ou négatifs suivant le signe de l'électricité.

V désignant le potentiel au point A et $\Sigma \frac{m}{r}$ la somme des expressions telles que $\frac{m}{r}$. Cette somme pouvant être positive ou négative, le potentiel peut être positif ou négatif.

Considérons en particulier le potentiel au centre d'une sphère. Toutes les masses électriques qui sont sur la surface de la sphère sont à la même distance du centre, par conséquent le potentiel au centre.

$$V = \frac{m}{R} + \frac{m'}{R} + \frac{m''}{R} + \ldots\ldots = \frac{m + m' + m'' + \ldots\ldots}{R} = \frac{M}{R}$$

M désignant la masse totale d'électricité dont la sphère est chargée et R son rayon.

D'après ce que nous avons dit plus haut, l'équilibre ne peut avoir lieu sur un conducteur qu'autant que ses divers points ont le même potentiel. L'expression $V = \frac{M}{R}$ représente donc le potentiel en un point quelconque de la sphère.

Mais si dans l'expression $V = \frac{M}{R}$ nous faisons $M = 1$, $R = 1$ $V = 1$.

De là, la définition de l'unité de potentiel dans le système C. G. S.

34.— Unité de potentiel dans le système C. G. S.— *C'est le potentiel d'une sphère de rayon égal à 1 centim. chargée de l'unité de quantité d'électricité*, l'unité de quantité d'électricité étant définie comme nous l'avons dit plus haut.

Mais cette unité est trop grande pour les applications.

35. — Unité pratique de potentiel volt. — *L'unité de potentiel pratique s'appelle le volt* et vaut $\frac{1}{3 \times 10^2}$ ou $\frac{1}{300}$ de l'unité de potentiel dans le système C. G. S.

Telle est l'unité à laquelle nous pourrons comparer le potentiel en un point d'un corps électrisé en nous aidant de la relation qui unit les déviations de l'aiguille de l'électromètre aux potentiels des secteurs et à celui de la lame mobile.

Si on désigne par V' et V'' les potentiels des secteurs pairs et impairs, par V le potentiel de lame mobile et par D la déviation, on établit entre ces diverses grandeurs la relation

$$D = A\,(V' - V'')\left(V - \frac{V' + V''}{2}\right)$$

Mais si les potentiels des secteurs sont égaux et de signe contraire, si $V'' = -V'$.

$D = 2\,A\,V'\,V = K\,V$ ou, ce qui revient au même, $V = KD$ (1)

K étant une constante.

Ainsi, si les secteurs de l'électromètre sont à des potentiels égaux et de signe contraire, les déviations sont proportionnelles aux potentiels de la lame.

36. — Mesure d'un potentiel avec l'électromètre. — On réalise cette condition en mettant les secteurs pairs et impairs en communication avec les pôles positif et négatif d'une pile formée par des éléments voltaïques zinc, eau, cuivre associés en tension. L'eau et les métaux sont contenus dans des pots en terre vernie bien isolés par de la paraffine. Le milieu de la pile étant en communication avec la terre, les pôles sont à des potentiels égaux et de signe contraire. Les secteurs pairs et impairs auxquels on les relie se trouvent donc dans les conditions pour que les proportionnalités entre les déviations et les potentiels de la lame soient réalisées.

Pour obtenir le potentiel d'un corps électrisé nous mettrons d'abord l'aiguille de l'électromètre en communication avec le sol. Supposons que, l'observation se faisant avec une lunette, ce soit la division 0 qui soit en coïncidence avec lé fil vertical du réticule.

Nous mettons alors l'aiguille en communication par un fil long et fin avec le corps dont nous voulons avoir le potentiel, l'aiguille sera déviée, et ce sera par exemple la division 100 qui sera en coïncidence avec le fil vertical du réticule. Les déviations étant toujours assez petites, nous pourrons prendre 100 pour mesure de la déviation, et si X désigne le potentiel inconnu nous aurons en vertu de la relation (1).

$$X = K \times 100 \quad (2)$$

Mettons de même l'aiguille ramenée préalablement au potentiel zéro en communication avec le pôle positif d'un élément Daniel dont l'autre pôle est au sol. Le potentiel du pôle positif est, comme nous le verrons, dans ces conditions égal à 1 volt 08. Nous verrons alors par exemple la

division 10 en coïncidence avec le fil vertical du réticule. Nous pourrons écrire :

$$1 \text{ volt } 08 = K \times 10 \quad (3)$$

D'où en divisant les deux égalités (2) et (3) l'une par l'autre

$$\frac{X}{1 \text{ volt } 08} = \frac{K \times 100}{K \times 10} = \frac{100}{10} = 10$$

et par conséquent $X = 10$ volts 8.

L'électromètre de Thompson ne peut servir que pour la détermination de faibles potentiels tels que les potentiels des pôles d'une pile.

37. — Application médicale. — Il est intéressant de rechercher comment varie l'état sanitaire d'un pays avec les diverses conditions météorologiques, température, état hygrométrique, etc. Divers travaux ont été entrepris dans cette direction. Il ne serait sans doute pas inutile de rechercher si les variations de potentiel de l'atmosphère ont quelque influence sur la santé publique.

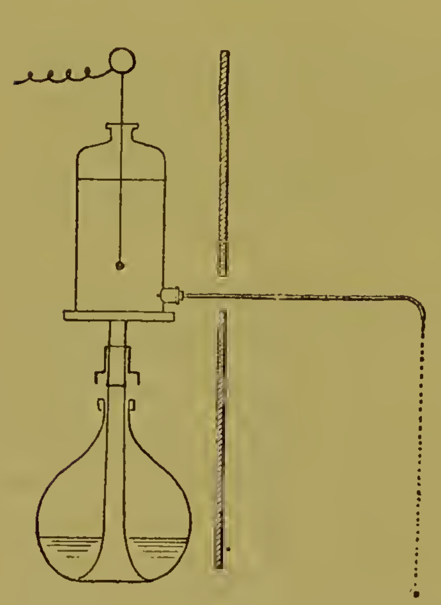


Fig. 16. — Appareil de M. Mascart pour l'observation continue du potentiel en un point de l'air.

Pour obtenir le potentiel de l'air en un point déterminé, on remplit d'eau un grand flacon (fig. 16) en verre bien isolé. Le liquide est en communication, au moyen d'un fil isolé, avec l'aiguille de l'électromètre.

Le flacon communique à la partie inférieure avec un tube très étroit en ébonite par lequel le liquide s'écoule en formant une veine très mince, d'abord continue, se divisant à une petite distance de l'orifice en gouttelettes très fines. L'eau du flacon se met ainsi en équilibre de

potentiel avec le point de l'air où la veine cesse d'être continue, et c'est ce potentiel que permettent de suivre les déviations de l'électromètre. Si on relie cette eau avec un électromètre disposé, comme nous l'avons dit (pag. 33), pour l'inscription continue de ses déviations, la courbe tracée permettra de suivre les variations du potentiel pendant un temps déterminé.

38. — Détermination des potentiels très petits et très élevés. — Pour les potentiels très petits de l'ordre de ceux dont on a à se préoccuper dans les expériences de physiologie, on se sert de l'électromètre à mercure de Lippmann que nous décrirons dans la deuxième partie de cet ouvrage.

Les potentiels élevés tels que les potentiels des machines électro-statiques, qui intéressent plus particulièrement le médecin, sont mesurés d'une façon indirecte en mesurant la longueur de l'étincelle qui jaillit entre deux sphères conductrices en communication avec les deux pôles de la machine.

L'expérience montre en effet que, lorsque l'étincelle jaillit entre deux boules d'un diamètre déterminéle, potentiel atteint toujours une même valeur quand la distance des boules ne change pas.

Les expériences de MM. Baille, Blondlot, Bichat, Mascart, ont déterminé les potentiels correspondant à ces distances qu'on appelle les distances explosives. Ils ont réuni les résultats de leurs observations dans des tableaux ou par des courbes[1].

Il suffira donc au médecin qui veut connaître le potentiel de sa machine de mesurer la distance explosive qui sépare les deux boules. Cette distance étant connue, il trouvera, en consultant les tables ou les courbes établies par les observateurs dont j'ai cité les noms, le potentiel cherché.

[1] Pellat; *Leçons sur l'Électricité*.
Berger et Chappuis; *Leçons de Physique générale*.

Schadewell à Dresde[1] construit un micromètre qui donne la distance explosive en $\frac{1}{100}$ de millimètre.

Cet appareil, qu'il appelle le micromètre à étincelles, se compose essentiellement de deux boules de diamètre déterminé qu'on met en communication avec les deux pôles de la machine et dont la distance est mesurée par la lecture d'une vis micromètrique reliée à l'une des boules.

Tableau [2] donnant les distances explosives en centimètres et les potentiels correspondants en volts. Boules de 22^{mm} de diamètre.

0^c,1	5.490
0 5	26.730
1 0	48.600
1 5	57.000
2	76.800
6	101.400
9	115.800
12	124.200
15	127.800

La détermination du potentiel peut se faire beaucoup plus simplement et avec une précision suffisante pour les applications médicales au moyen de l'électromètre de Henley. L'expérience montre en effet que, l'électromètre étant mis en communication avec la machine, la divergence du pendule est toujours la même pour un potentiel déterminé. Il suffirait donc pour l'observation rapide du potentiel que le constructeur livrât avec la machine un électromètre de Henley dont la graduation au lieu de se rapporter à une unité arbitraire exprimerait des volts.

Le pendule étant par exemple sur la division marquée 48000, le médecin saurait que sa machine fonctionne sous le potentiel 48000 volts.

[1] Schadewell (de Dresde), Funkenmicrometer, 50 fr.

[2] Chappuis et Berger; in *loc. cit.*, pag. 135.

Disons également que les machines médicales construites par Hirschmann (de Berlin) présentent une graduation qui permet de mesurer la distance explosive.

39. — Capacité électrique. — Pour élever la température de divers corps de 1 degré, il faut leur fournir des quantités de chaleur bien différentes qu'on appelle leur capacité calorifique. De même, les divers corps pour acquérir l'unité de potentiel ont besoin de quantités d'électricité inégales.

On appelle capacité électrique d'un corps *la quantité d'électricité qu'il doit acquérir pour avoir un potentiel égal à* 1. S'il est au potentiel V, il doit posséder une quantité d'électricité V fois plus grande Ainsi donc si M représente la quantité d'électricité d'un corps, C sa capacité électrique, V son potentiel, $M = C V$.

Dans le cas de la sphère $V = \frac{M}{R}$, donc $M = C \times \frac{M}{R}$, d'où $C = R$. Ainsi la capacité d'une sphère est égale à son rayon.

Si $R = 1$ $C = 1$.

. Donc dans le système C. G. S. *l'unité de capacité électrostatique est la capacité d'une sphère dont le rayon est égal à* 1 *centim.*

Cette unité de capacité n'est pas usitée.

L'unité pratique est le farad, qui vaut 3^2 10^{11} fois l'unité précédente ou mieux le microfarad, millionième d'un farad, qui vaut par conséquent 3^2 10^5 l'unité électrostatique de capacité. Cette unité est encore très grande, puisque la capacité de la terre n'est égale qu'à 708 microfarads.

Nous avons tout à l'heure montré l'analogie qui existe entre la capacité électrique et la capacité calorifique. Cependant cette analogie est limitée. C'est ainsi que la capacité calorifique d'un corps dépend de la nature du corps et de son poids (si on désigne par capacité calorifique le produit *p c* du poids par la chaleur spécifique) ; tandis que la

capacité électrique indépendante de la nature du conducteur dépend de la forme du conducteur et des corps voisins.

C'est ainsi que dans un condensateur la capacité d'une armature est modifiée par la présence de l'armature voisine.

Toutes ces notions peuvent paraître au médecin bien inutiles.

Nous estimons cependant que ces idées, parfaitement saisies et acceptées par tous ceux qui s'occupent d'électricité, doivent absolument pénétrer dans le monde médical. Nous ne saurons probablement pas de sitôt ce que c'est que l'électricité, mais nous pouvons, dès à présent, la doser, la mesurer et faire ainsi profiter les malades d'un médicament puissant et le seul efficace dans bien des cas. Cette mesure sera facile quand ces expressions techniques seront bien comprises de tous les médecins. Les observations d'électricité médicale auront autant de valeur qu'une observation chirurgicale ou médicale bien faite.

40. — Énergie électrique. — Le potentiel d'un corps conducteur a encore une signification très importante au point de vue des applications.

Quand nous électrisons un corps, nous le frottons, nous produisons, par conséquent, avec l'énergie emmagasinée dans nos muscles de l'énergie mécanique qui se transforme, en partie du moins, en énergie électrique. Une autre partie de l'énergie utilisée se retrouve sous forme d'énergie calorifique, le frottement donnant naissance, comme on le sait, à de la chaleur. Or, le potentiel du corps représente justement l'énergie que nous avons dû produire pour élever l'unité de masse électrique du potentiel 0 au potentiel V qu'il possède actuellement. De sorte que, si le corps, au lieu de renfermer une quantité d'électricité égale à 1, en renferme une quantité M fois plus grande, la quantité d'énergie que nous aurions dû produire pour amener le corps à cet état électrique serait M V, si le corps avait été

amené immédiatement à ce potentiel V. Mais avant d'y arriver, il a passé par une série de potentiels intermédiaires, entre O et V, de sorte que l'énergie produite au lieu d'être égale à M V est, comme un calcul très simple permet de le démontrer, égale seulement à $\frac{1}{2}$ M V.

Ce que l on exprime par la relation

$$W = \frac{1}{2} M V \quad (1)$$

W représentant l'énergie.

L'énergie peut encore s'exprimer d'une autre façon. Nous avons vu en effet qu'entre la masse électrique, la capacité et le potentiel existe la relation

$$M = C V$$

En substituant à M sa valeur dans (1) on trouve

$$W = \frac{1}{2} C V^2$$

Nous avons vu que l'unité pratique de quantité d'électricité était le coulomb et l'unité de potentiel le volt.

41. — Watt. — Le produit d'un coulomb par un volt est désigné sous le nom de watt.

De sorte que le produit de M coulomb par V volts est égal à M V watts.

Ce sont aussi des watts que l'on obtient, si dans la formule

$$W = \frac{1}{2} C V^2$$

on remplace C par la capacité évaluée en farads et V par le potentiel exprimé en volts.

Or, on démontre que pour transformer en kilogrammètres cette énergie, ce travail exprimé en watts, il suffit de la diviser par 9, 8 ou pratiquement par 10.

Ex. I. Un conducteur renferme une quantité d'électricité de 795 microcoulombs, c'est-à-dire 0 coulomb 000795 à un potentiel de 90000 volts, ce qui rentre dans les conditions ordinaires de nos machines, nous avons dû effectuer

ou faire produire par un moteur pour obtenir ce résultat, un travail

$$\frac{0.000795 \times 90000}{2} \text{ watts ou } \frac{0,000795 \times 90000}{2 \times 10} \text{ kilogrammètres.}$$

Ex. II. Un condensateur ayant pour capacité 0,001 microfarad, chargé au potentiel de 60000 volts possède une énergie égale

$$2\,\frac{1}{2}\,0 \text{ farad } 000000001 \times 60000 \text{ volts}$$

$$= 1,8 \text{ watt}$$

$$= 0,18 \text{ kilogrammètre.}$$

C'est cette énergie accumulée dans le conducteur ou le condensateur qui est restituée au moment de la décharge.

L'énergie virtuelle pendant la charge devient énergie actuelle pendant la décharge.

42. — Courant électrique et force électromotrice. — L'équilibre d'un corps est assuré quand tous ses points sont au même potentiel. Mais si deux points d'un conducteur sont à des potentiels différents, l'équilibre n'a plus lieu et il se produit un mouvement, un courant électrique des points où le potentiel est le plus élevé vers ceux où il est le plus faible.

La différence de potentiel entre deux points qui est la cause du mouvement électrique porte le nom de *force électromotrice*.

C'est ainsi que, si nous établissons la communication avec le sol du malade placé sur le tabouret isolant et relié à la machine en activité, il y aura mouvement d'électricité courant de la machine au malade et du malade au sol en supposant le potentiel de la machine positif.

Si la machine est à un potentiel négatif, le mouvement électrique se produit en sens contraire du sol à la machine à travers le malade. Si la machine continue à fournir de l'électricité, le courant ne cesse pas, sinon le corps se

mettra au potentiel du sol et l'équilibre sera établi. Si le malade est isolé il n'y en a pas moins flux continuel d'électricité de la machine au malade, du malade à l'air et de l'air aux murs de la pièce et au sol dans un sens ou dans l'autre, suivant que le potentiel de la machine est positif ou négatif.

Or, comme le dit le professeur Gariel, un courant électrique, aussi bien celui des machines que celui des piles, doit être considéré comme un transmetteur d'énergie. Toute rupture de l'équilibre électrique, tout passage d'un potentiel à un autre est nécessairement accompagné d'une variation d'énergie potentielle pour le conducteur. Il était au potentiel V, il passe au potentiel V′ que nous supposons plus petit que V. Dans le premier cas il possédait une quantité d'énergie potentielle égale à $1/2\ CV^2$, dans le deuxième, il ne possède plus que $1/2\ CV'^2$. La différence $1/2\ C\ (V^2 - V'^2)$ ou $1/2\ CV^2$ quand $V' = 0$ représente la quantité d'énergie qui devient actuelle et qui se manifeste sous forme d'énergie calorifique et lumineuse dans l'étincelle, d'énergie chimique en condensant l'oxygène de l'air pour le transformer en ozone, d'énergie physiologique en excitant les nerfs et les muscles, d'énergie thérapeutique si l'électricité est employée comme médicament.

La somme de ces énergies correspondant à une même dépense d'énergie électrique, si une d'elles vient à croître les autres décroissent, et réciproquement. C'est ainsi, et les malades le savent bien, que lorsque les étincelles deviennent plus courtes, c'est-à-dire, quand l'énergie lumineuse diminue, l'énergie mécanique augmente, de là une impression de choc plus vive et plus douloureuse.

Ainsi lorsque nous approchons du corps du malade au potentiel de la machine l'excitateur relié au sol par conséquent au potentiel O ; le corps et l'excitateur sont deux conducteurs à deux potentiels différents et séparés l'un de l'autre par un milieu peu conducteur. L'électricité traverse ce milieu en passant du potentiel V au potentiel O.

Une partie de l'énergie devenue libre se transforme en énergie calorifique et lumineuse, et l'air interposé est porté à l'incandescence.

Quelque chose d'analogue se produit lorsque la variation de potentiel s'établit à travers un fil fin de platine, à travers la feuille d'or, dans l'expérience du portrait de Franklin. Les métaux sont fondus, volatilisés.

Une autre partie de l'énergie se transforme en énergie sonore, en énergie chimique, l'oxygène de l'air se transformant en ozone. Une autre partie devient de l'énergie physiologique, thérapeutique en ébranlant les nerfs, les muscles, tous les tissus en général, en modifiant leur constitution.

43. — Étincelle. — L'étincelle apparaît sous forme d'un trait lumineux bien distinct éclatant, bruyant lorsque les décharges sont séparées par des intervalles de temps appréciables.

Si au contraire la décharge se produit d'une façon continue, le bruit, l'éclat, disparaissent, on entend un crépitement particulier, en même temps que dans l'obscurité on voit apparaître des lueurs qui se manifestent sous forme d'aigrettes. C'est ce qui se produit quand l'excitateur est terminé en pointe.

Une partie de l'énergie électrique est consommée pour mettre l'air en mouvement, pour produire ce vent dont nous avons parlé.

La longueur de l'étincelle dépend du potentiel de la machine. Dans les machines médicales l'étincelle est sonore, éclatante, lorsque les conducteurs sont reliés aux condensateurs. La machine conservant le même potentiel, l'étincelle a la même longueur, mais son éclat a complètement disparu, et le bruit est beaucoup plus faible quand on enlève les condensateurs.

44. — Décharge disruptive, décharge conductive. — Rappelons aussi que l'on appelle souvent décharge dis-

ruptive, la décharge avec étincelle, et décharge conductive, la décharge à travers les corps bons conducteurs.

Ex. : La décharge à travers l'air ou un milieu gazeux est disruptive. La décharge à travers une feuille d'or, dans l'expérience du portrait de Franklin, est conductive.

45.— Applications médicales. — Dans les applications médicales la décharge est simultanément disruptive et conductive. C'est la décharge disruptive qui se manifeste sous forme d'étincelle ou d'aigrette ; c'est la décharge conductive qui provoque, en traversant les tissus conducteurs, la secousse musculaire, l'excitation nerveuse.

CHAPITRE IV.

MACHINES ÉLECTRIQUES

---

46. — Généralités. — On appelle machine électrique un appareil destiné à décomposer l'électricité neutre, à en déposer l'électricité positive sur un conducteur et l'électricité négative sur un autre conducteur. Ces deux conducteurs s'appellent les *pôles* de la machine. Celui qui reçoit l'électricité positive porte le nom de pôle positif et celui qui reçoit l'électricité négative s'appelle le pôle négatif.

Nous ne dirons rien des machines de Ramsden, de Nairne. Ce sont des machines trop encombrantes ; exigeant trop de soin quand il faut les faire fonctionner par des temps humides. La machine de Holtz, excellente comme machine de laboratoire, s'amorce difficilement, et quelquefois pas du tout. Elle se désamorce trop facilement.

Le Dr R. Vigouroux, qui l'a essayée à la Salpêtrière, estime qu'elle a une énergie trop grande pour les applications thérapeutiques.

Ce qu'il faut au médecin, c'est une machine fonctionnant à peu près par tous les temps et débitant de l'électricité à un potentiel suffisamment élevé pour donner de l'énergie électrique utilisable thérapeutiquement.

Il n'y a que trois machines qui nous paraissent répondre aux nécessités de la pratique médicale, la machine Carré, la machine de Voss et la machine Wishmhurst.

47. — Machine Carré. — La machine Carré (fig. 17) se compose de deux plateaux de diamètres différents. Le grand plateau A est en ébonite, le petit C est en verre et passe avec frottement entre deux coussins semblables à

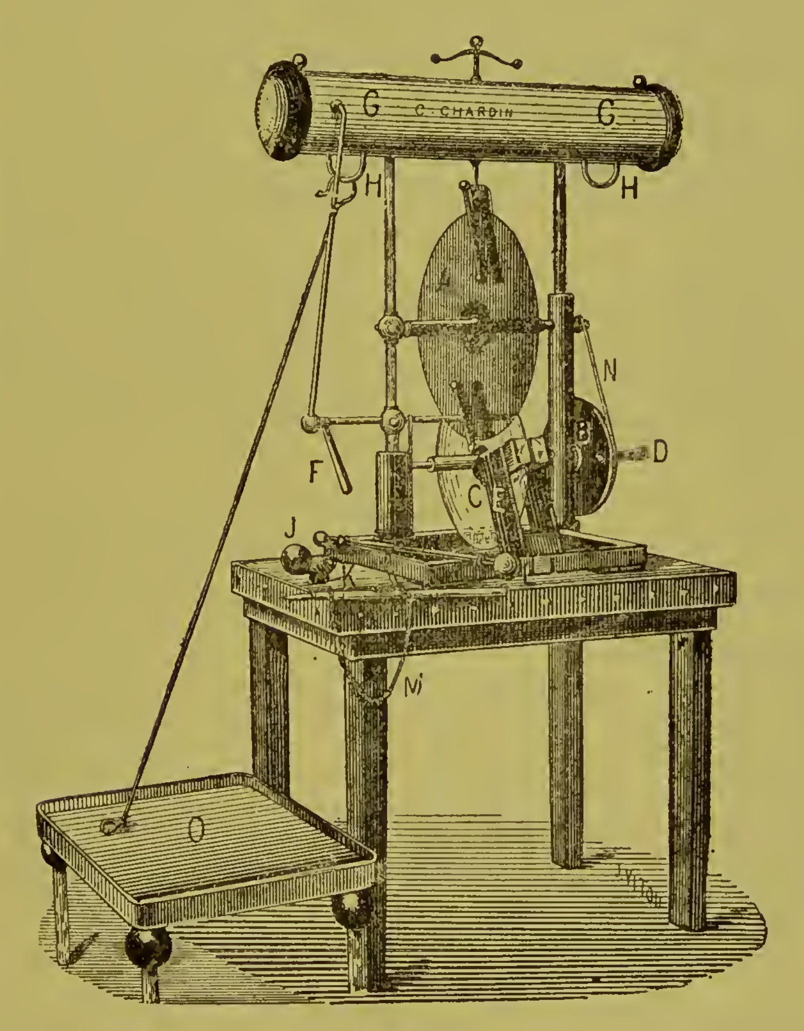


Fig 17. — Machine Carré, construite par Chardin. Prix : 470 fr. — C plateau en verre tournant entre les coussins E. A plateau en ébonite. B grande poulie portée par l'axe du petit plateau, entraînée par la manivelle D et reliée par les cordes N à la petite poulie portée par l'axe du plateau A. GG grand cylindre conducteur avec anneau qui porte le crochet de la tige qui relie GG au tabouret O. F tige polaire à faible surface.

ceux des machines Ramsden. Ces coussins sont recouverts d'un amalgame de zinc et d'étain maintenu par un corps

gras[1]. Les plateaux sont mobiles autour de deux axes horizontaux soutenus par deux montants en substance isolante. Le mouvement de rotation est imprimé à une poulie B fixée sur l'axe du petit plateau et transmis à l'aide d'une courroie à une poulie d'un diamètre plus petit fixée sur l'axe du grand plateau. Les deux plateaux tournent simultanément, mais à cause des diamètres différents des deux poulies le grand plateau tourne plus vite que le petit.

Les axes des deux plateaux sont à une hauteur telle que la partie inférieure du grand plateau et la partie supérieure du petit sont en regard. Aux extrémités du diamètre vertical du grand plateau et devant la face de ce plateau opposée à celle qui se déplace devant le plateau en verre, correspondent deux peignes métalliques rattachés à deux conducteurs GG, F de surface très inégale. Le conducteur supérieur GG est un grand cylindre soutenu par les montants en verre de surface très grande. Le conducteur inférieur est une tige métallique qu'on relie généralement au sol.

Les parties métalliques sont en laiton verni ou nickelé.

Une bouteille de Leyde dont l'armature intérieure est en communication avec le conducteur supérieur et dont l'armature extérieure touche le conducteur inférieur, peut être, pour certaines applications, ajoutée à la machine.

Le fonctionnement de la machine est facile à comprendre.

Le petit plateau en frottant contre les coussins s'électrise positivement. Il agit par influence à travers le plateau supérieur sur le peigne inférieur, attire l'électricité négative qui, s'écoulant par les pointes, charge la face voisine du grand plateau en même temps que l'électricité positive

[1] L'expérience a montré que le développement d'électricité était beaucoup plus abondant quand le frottement se produisait contre les coussins enduits de cet amalgame. Tyndall (*Leçons sur l'électricité*) conseille de lui donner la composition suivante : Étain, 1 partie ; Zinc, 2 parties ; Mercure, 6 parties.

est refoulée dans le conducteur inférieur ou bien dans le sol si ce conducteur est relié à la terre.

L'électricité négative dont s'est chargé le grand plateau entraînée par lui, arrive devant le peigne supérieur. Un nouveau phénomène d'influence se produit. L'électricité négative attire l'électricité positive du conducteur supérieur qui, s'écoulant par les pointes, neutralise les parties du plateau qui passent devant le peigne. En même temps l'électricité négative est repoussée dans le conducteur.

On obtient donc les deux électricités sur les conducteurs qui constituent les deux pôles.

On a augmenté le débit de la machine en plaçant devant le peigne supérieur et de l'autre côté du grand plateau une lame d'ébonite en communication avec le gros conducteur et qui porte une lame de papier d'étain munie de peignes (fig. 18).

La lame d'ébonite se charge lentement d'électricité négative qui s'écoule par les pointes sur la deuxième face du plateau supérieur de sorte que les deux faces du grand plateau et la plaque d'ébonite peuvent être considérées comme agissant simultanément par influence sur le peigne F. Dans ces conditions le débit de la machine est plus considérable.

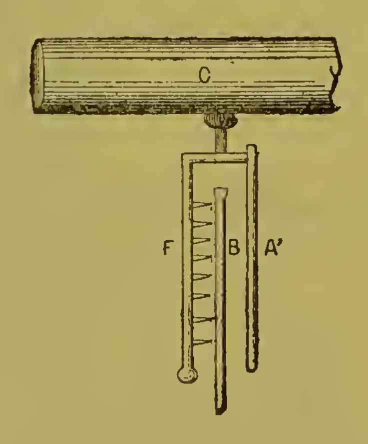


Fig. 18.— Machine Carré. Le grand cylindre A est relié au peigne F et à la lame d'ébonite A'. B plateau en ébonite.

Dans cette machine comme dans toutes les autres, l'énergie électrique est une transformation de l'énergie mécanique dépensée pour mettre la machine en mouvement.

On voit aussi qu'une partie de l'énergie mécanique est consommée pour produire l'énergie calorifique résultant du frottement du plateau inférieur contre les coussins. C'est donc à ce point de vue une infériorité sur les autres machines dans lesquelles l'amorcement se produit directement. Toutefois

c'est une machine qui a fait ses preuves depuis longtemps et que bon nombre d'électriciens abandonneront difficilement.

48. — Machine Holtz-Carré. — La machine dite Holtz-Carré, qui était encore employée il y a peu de temps à la Salpêtrière, ne différait de la machine Carré que parce que les axes des plateaux étaient soutenus par des traverses horizontales faisant partie d'un cadre isolé qui enveloppait la machine.

Les pôles étaient d'égale surface, et la machine au lieu d'avoir un seul grand plateau en possédait deux de même diamètre montés sur le même axe et entre lesquels tournait le plateau en verre excitateur qui frottait contre des coussins.

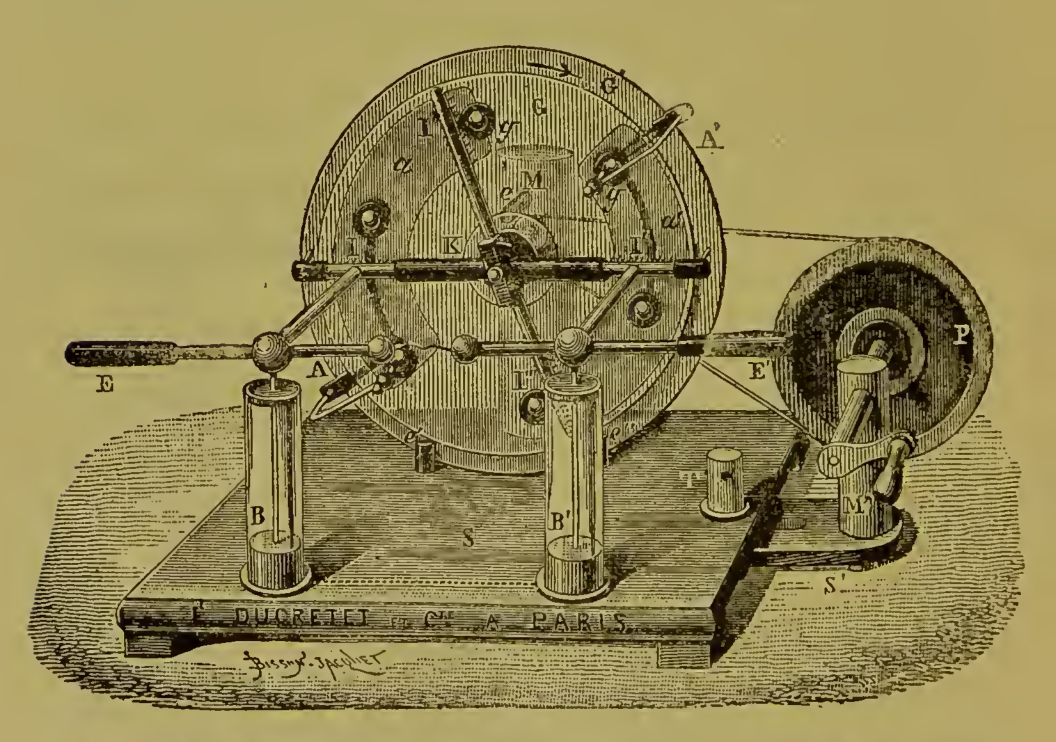


Fig. 19. — Machine de Voss. G G′ plateaux en verre. I I′ peignes. I″ I‴ conducteur diamétral. *g* pastilles du plateau mobile. *a a′* armatures en papier avec bandes d'étain reliées aux peignes A A′. E E′ tiges polaires mobiles B B′ condensateurs. S planche en bois qui soutient les montants M M′ portant les axes. — Modèle de Ducretet.

49. — Machine de Voss. — Cette machine (fig. 19) se se compose d'un plateau fixe et d'un plateau mobile, autour

d'un axe horizontal. Le mouvement est imprimé à ce plateau au moyen d'une poulie munie d'une manivelle reliée par une corde flexible à une poulie plus petite montée sur l'axe du plateau mobile. Les plateaux sont en verre verni à la gomme laque. Le plateau fixe porte deux inducteurs formés par deux bandes de papier sur lesquelles sont collées deux lames de papier d'étain. Deux peignes disposés devant les deux extrémités du diamètre horizontal du plateau mobile sont reliés aux conducteurs qui forment les pôles. On peut augmenter leur capacité en les reliant aux armatures internes de deux bouteilles de Leyde dont les armatures externes communiquent entre elles. Sur l'axe de l'appareil est monté un conducteur appelé diamétral ; il est terminé par deux balais qui correspondent aux extrémités opposées des inducteurs en papier. Sur le plateau mobile sont collées des pastilles métalliques disposées sur une même circonférence et placées deux par deux aux extrémités d'un même diamètre. Enfin, sur ces pastilles frottent deux balais reliés métalliquement aux bandes de papier d'étain des inducteurs.

La théorie de cette machine est loin d'être complète.

On comprend assez bien ce qui se passe en adoptant l'explication que Bertin a donnée du développement de l'électricité dans la machine de Holtz.

On imagine (fig. 20) le plateau mobile remplacé par un plateau cylindrique qui présente, sur sa surface interne, des pastilles p frottant contre les balais du conducteur diamétral et du conducteur relié

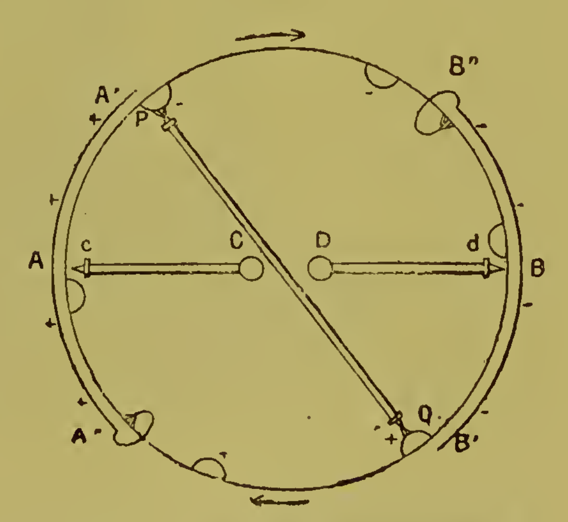


Fig. 20. — 2 pastilles métalliques. A B secteurs en étain communiquant avec les peignes A″ B″. P Q conducteur diamétral. Cc D*d* tiges polaires.

aux feuilles d'étain. Ces armatures d'étain A B sont situées au dehors du cylindre mobile. Les peignes, rattachés aux conducteurs de la machine, sont à l'intérieur du cylindre et représentés par les pointes *c d* qui terminent les tiges métalliques C D. Le mouvement du plateau se fait dans le sens des flèches.

Pour comprendre comment se produit l'amorcement, il faut admettre qu'au moment où le plateau commence à tourner, les deux inducteurs ne sont pas dans le même état électrique. Nous supposerons, par exemple, que l'inducteur A possède un peu plus d'électricité positive que l'inducteur B. On peut accepter ce point de départ, car s'il arrive par les temps très humides que la machine ne fonctionne pas, l'amorcement se fait immédiatement en approchant un morceau de verre ou d'ébonite frotté avec de la laine de l'un des inducteurs. L'influence de A est donc prédominante et on peut se contenter d'examiner les effets produits par cet inducteur. Supposons qu'au départ les balais du conducteur diamétral soient sur deux pastilles opposées. L'inducteur A agit par influence sur le conducteur diamétral, attire l'électricité négative qui charge la pastille P et repousse l'électricité positive sur la pastille Q. L'électricité négative entraînée par la pastille P est cédée par elle au balai B″, en communication avec l'inducteur B, qui est ainsi chargé négativement. De même, l'électricité positive des pastilles Q vient s'ajouter par le contact avec le balai A″, à l'électricité positive de l'inducteur A. Les phénomènes d'influence se poursuivant, les charges des armatures A et B vont en augmentant. Mais ces armatures, une fois amorcées, agissent sur les peignes intérieurs. A agit par influence sur C, attire l'électricité négative qui s'écoule par les pointes, charge les pastilles et une partie de la surface interne du plateau. En même temps, l'électricité positive est refoulée dans le conducteur C, qui est ainsi électrisé positivement. De même, l'influence de B sur *d* attire l'électricité positive qui s'écoule par les poin-

tes *d*, charge les pastilles et une partie de la surface interne du cylindre mobile, tandis que l'électricité négative est repoussée dans le cylindre D. Les pôles sont donc chargés d'électricité de nom contraire. Les électricités, développées sur la surface interne du cylindre ou sur les pastilles, produisent, comme il est facile de le voir, des effets concordant avec ceux des inducteurs.

50.— MACHINE WISHMHURST.— Cette machine (fig. 21), à cause de sa commodité, de son facile amorcement et de sa simplicité, est par excellence la machine médicale. C'est

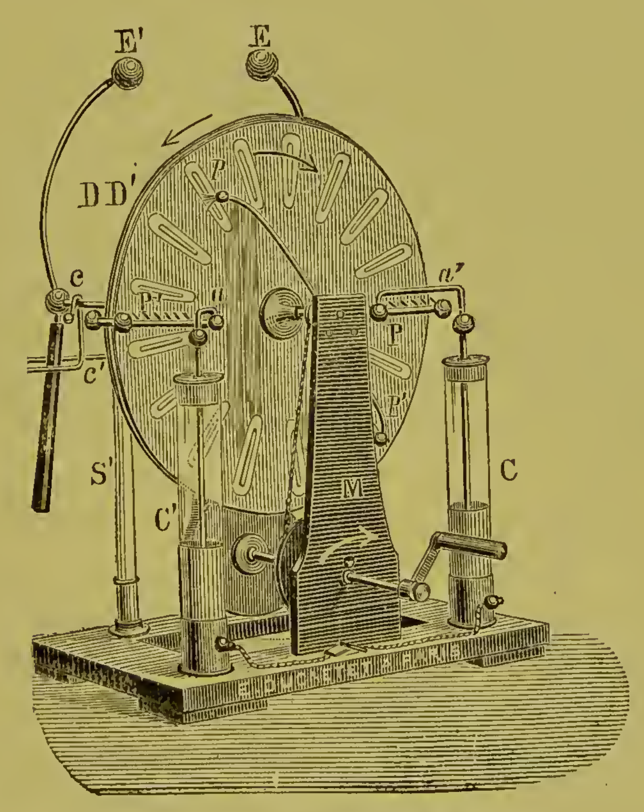


Fig. 21. — Machine de Wishmhurst. Modèle de Ducretet. — Prix : 230 fr.

la seule qui fonctionne actuellement à la Salpêtrière, dans le service du Dr Vigouroux, où elle est, du reste, montée d'une façon véritablement industrielle.

Cette machine (fig. 21) se compose de deux plateaux en ébonite ou en verre verni à la gomme laque DD', sur lesquels sont collés des secteurs d'étain découpés à l'em-

porte-pièce et disposés dans le sens des diamètres. Dans les machines de M. Ducretet, ces secteurs recouvrent des parties saillantes maintenues à la gomme laque. Les deux plateaux tournent en sens contraire avec la même vitesse. Pour cela deux poulies montées sur un même axe et dont l'une est munie d'une manivelle sont reliées à deux poulies plus petites portées par les axes de rotation des plateaux mobiles. Cette liaison se fait par des cordons convenablement disposés pour que la rotation des plateaux ait lieu en sens contraire. A chaque plateau correspond un conducteur diamétral $p p'$ terminé par des balais qui frottent contre les feuilles d'étain. Ils sont inclinés l'un à droite, l'autre à gauche, de façon à faire un certain angle avec le diamètre horizontal des plateaux. Enfin, des peignes $a a'$ embrassent les deux plateaux et sont reliés aux pôles $E E'$ de la machine. L'explication du développement de l'électricité est analogue à celle que nous avons donnée pour la machine de Voss. Nous représenterons les deux plateaux mobiles (fig. 22) par deux cylindres conducteurs se déplaçant en sens contraire dans le sens des flèches.

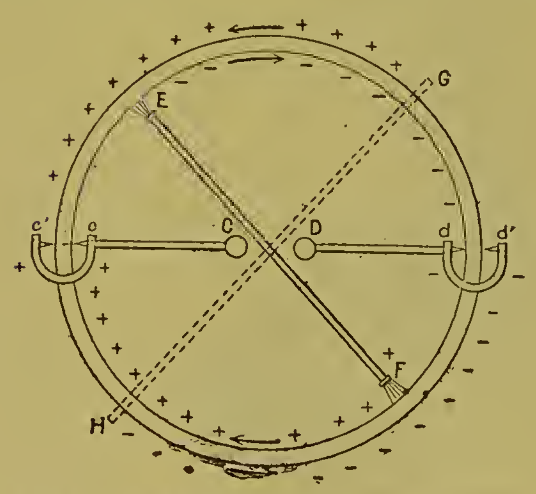


Fig. 22. — E F G H conducteurs diamétraux. $d d'$ $c c'$ peignes. C D tiges polaires.

Les conducteurs diamétraux sont représentés en E F et G H, les tiges conductrices, avec leurs peignes, sont en $C c c'$ $D d d'$.

Nous supposerons ces deux tiges au début à des états électriques différents, de telle sorte que l'influence de la tige Cc sera prédominante. Elle agira comme un corps électrisé positivement. Nous supposerons aussi les balais en contact avec les feuilles d'étain. Les balais E et H étant plus rapprochés de Cc que les balais G' et F, c'est sur eux

que se manifeste surtout l'influence de Cc. Le fluide neutre étant décomposé, le fluide négatif qui s'écoule des balais charge les plateaux dans le sens du mouvement de rotation de E à *dd'* pour l'un des cylindres, de H' à *dd'* pour l'autre. En même temps, l'électricité positive repoussée charge les mêmes plateaux de F en CC' pour le premier et de G en CC pour le second. Les plateaux sont ainsi amorcés ; mais les électricités positives qui s'approchent de T agissent par influence sur le conducteur, attirent l'électricité négative qui, s'écoulant par la pointe, neutralise l'électricité positive de chaque plateau. L'électricité positive repoussée sur le conducteur T s'ajoute à celle qui existait déjà sur le conducteur. Il est facile également de reconnaître que les effets d'influence produits par les électricités négatives des deux plateaux qui s'approchent de T' chargent ce conducteur négativement. Les mêmes effets d'amorcement et d'influence se poursuivant, on comprend que les charges des conducteurs polaires T et T' croîtront jusqu'à la limite que ne peut pas dépasser la machine, c'est-à-dire jusqu'à ce que l'état d'équilibre dans lequel les gains d'électricité résultant du fonctionnement de la machine égalent les pertes dues soit aux décharges le long des plateaux, soit aux pertes d'électricité par l'air et les supports.

51. — Détermination du signe du pôle des machines. — Les machines médicales à influence sont susceptibles de renversement, c'est-à-dire que le pôle positif devient pôle négatif, et inversement. Dans les applications, le médecin peut désirer fournir à son malade de l'électricité positive ou de l'électricité négative. Il importe donc qu'il puisse à chaque instant déterminer le signe du pôle avec lequel le malade est en communication.

On peut avoir recours à des procédés très simples :

1° Se servir de l'électroscope de Ducretet (voir pag. 28), charger l'électroscope d'électricité négative à l'extrémité marquée. — Approcher cette extrémité de l'un des con-

ducteurs de la machine en activité. S'il y a répulsion le conducteur est électrisé négativement. Il serait électrisé positivement s'il y avait attraction ;

2° On se met dans une demi-obscurité. On voit des aigrettes jaillir des peignes de la machine. L'aigrette (fig. 23) positive indique que de l'électricité positive s'écoule des



Fig. 23. — *a a'* aigrette négative. *b b'* aigrette positive.

pointes sur lesquelles elle se manifeste. Le conducteur relié à ces pointes est donc électrisé négativement. L'autre conducteur est par suite électrisé positivement.

3° Les boules qui terminent les conducteurs étant rapprochées à une distance d'un centimètre, la machine étant munie de ses condensateurs, une étincelle jaillit entre eux. Sur le trajet de l'étincelle on observe un étranglement plus rapproché du pôle négatif que du pôle positif, et la portion de l'étincelle comprise entre cet étranglement et le pôle négatif présente un maximun d'éclat. Ce phénomène s'observe (fig. 24) bien avec l'étincelle de la machine de Voss ;

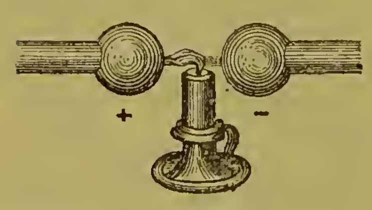


Fig. 24. — La flamme de la bougie placée entre les tiges polaires s'incline de façon que la pointe de la flamme se dirige vers le pôle positif.

4° Le procédé le plus simple consiste (fig. 34) à disposer

la flamme d'une bougie entre les deux pôles, la flamme s'incline et se dirige de façon que sa pointe soit tournée vers le pôle positif.

Une machine électrique est caractérisée : 1° par son potentiel ; 2° par son débit.

52. — Potentiel des machines électrostatiques. — On appelle potentiel d'une machine, c'est la différence de potentiel des pôles de la machine. Le potentiel peut s'apprécier, comme nous l'avons dit, au moyen de l'électromètre de Henley gradué en volts ou bien en mesurant la distance explosive qui sépare les boules des conducteurs quand les étincelles jaillissent entre elles et en cherchant dans les tables le potentiel correspondant. Le potentiel d'une machine augmente en même temps que la distance explosive jusqu'à une distance au delà de laquelle l'étincelle ne jaillit plus entre les boules. La machine se décharge alors contre l'air et contre les peignes. Elle a atteint son potentiel maximum.

Le potentiel de la machine reste le même si les deux pôles sont isolés et si l'un d'eux est en communication avec le sol.

Le potentiel d'une machine est d'autant plus grand qu'elle peut fournir de plus longues étincelles. Les machines électrostatiques sont caractérisées par leur potentiel élevé, et ce potentiel augmente avec le diamètre des plateaux.

Le potentiel a atteint en effet sa valeur maximum, quand on voit jaillir le long des plateaux des étincelles entre les peignes chargés d'électricité de nom contraire. Ces décharges se produisent d'autant plus difficilement que la distance qui sépare les peignes est plus grande, et comme cette distance est proportionnelle au diamètre des plateaux on comprend comment le potentiel croît avec le diamètre.

Le potentiel d'une machine est d'autant plus faible que l'air est plus humide. Il dépend également de la forme des conducteurs qu'on approche de la machine. Ainsi on obtient des étincelles de longueur maximum en terminant les con-

ducteurs par des boules sphériques. Si l'un des conducteurs est muni d'une pointe, le potentiel que peut atteindre la machine, potentiel auquel correspond l'aigrette, est beaucoup plus faible.

53. — Débit. — Le débit, c'est la quantité d'électricité fournie par la machine pendant une seconde.

On apprécie le débit en armant la machine de ses condensateurs. Les deux boules qui terminent les conducteurs étant maintenues à une distance déterminée, on mesure au chronomètre le temps nécessaire pour obtenir un certain nombre d'étincelles.

Supposons que la distance qui sépare les boules soit de 3 centim. A cette distance explosive correspond, d'après les tables, un potentiel de 76800 volts.

La capacité du condensateur étant par exemple $\frac{1}{10}$ de microfarad, nous savons qu'un conducteur de capacité C chargé à un potentiel V, possède une quantité d'électricité

$$Q = CV$$

On peut admettre, en négligeant la charge résiduelle du condensateur, que c'est aussi cette quantité qui intervient dans la décharge, et par conséquent dans l'exemple que nous avons pris à chaque décharge correspond une quantité d'électricité égale à

$$\frac{0 \text{ farad } 000001}{10} \times 76800 \text{ volts} = 0 \text{ coulomb } 00768$$

Si la machine donne 2 étincelles par seconde, son débit sera le double du nombre précédent.

Le débit des machines électriques est toujours très petit. C'est ainsi qu'une machine de Holtz tournant à 10 tours à la seconde peut fournir des étincelles de 22 centim. à un débit de

0 coulomb 0002

Le débit d'une machine augmente avec la vitesse de rotation.

54. — Puissance ou énergie de la machine. — On désigne ainsi le produit du potentiel de la machine par son débit. Le potentiel étant exprimé en volts et le débit en coulombs, la puissance est exprimée en watts. On transforme les watts en kilogrammètres en les divisant par 9,8 ou sensiblement par 10.

Ex : Une machine marche à un potentiel de 130000 volts, à un potentiel de 200 microcoulombs sa puissance est égale à

0 coulombs 0002 × 130000 watts = 26 watts ou 2 kgm 6

Si l'un des facteurs de la puissance augmente, l'autre diminue, et réciproquement. C'est ainsi que, si la distance explosive qui sépare les boules diminue, le potentiel diminue et le nombre des étincelles qui mesure le débit augmente.

Jusqu'à présent aucune recherche n'a été faite pour savoir comment ces facteurs interviennent dans les effets physiologiques et thérapeutiques produits par l'électricité des machines.

55. — Accessoires des Machines électriques médicales. — I. *Moteur*. — Les machines statiques transforment en énergie électrique l'énergie mécanique qui fait tourner le plateau. L'énergie mécanique qui intervient ordinairement dans les cours est l'effort musculaire d'un homme sur la poignée d'une poulie. Mais dans les applications thérapeutiques, le médecin ne peut pas recourir à un aide dont la présence peut être gênante pour son client. Il doit donc emprunter l'énergie mécanique dont il a besoin à d'autres moteurs. S'il s'agit d'installations électriques considérables, on peut avoir recours à un moteur à gaz situé dans une pièce voisine et relié à la machine. A la Salpêtrière un moteur à vapeur, placé dans les caves, met en mouvement une dynamo qui actionne un moteur électrique disposé dans la cage en verre qui protège la machine. De

pareilles dispositions sont beaucoup trop dispendieuses pour le médecin qui ne traite par l'électricité qu'un petit nombre de malades. Il est beaucoup plus simple, ainsi que cela se pratique dans certaines cliniques, d'avoir une batterie de piles au bichromate qui actionne une petite dynamo qu'on relie aux poulies qui entraînent les plateaux.

Lorsque le médecin peut se mettre en relation avec une usine centrale d'électricité, un moteur électrique relié à la canalisation de l'usine lui fournira plus simplement encore l'énergie mécanique qui lui est nécessaire.

On peut également employer d'autres moteurs, moteur à eau ou à air. Il faut se rappeler que l'effort à produire ne dépasse pas 5 ou 6 kilogrammètres et qu'il est par conséquent bien inutile d'employer des moteurs à gaz de 1/2 cheval.

II. *Tabouret isolant.*—Le malade est placé sur un tabouret formé par une planche solide à angles bien arrondis et portée par des pieds bien isolants. L'isolement du tabouret est quelquefois difficile à obtenir par les temps humides. Il faut l'essuyer avec des linges chauds. Le Dr Vigouroux a imaginé une disposition pour chauffer facilement ces tabourets. Il nous semble qu'on obtiendrait d'aussi bons résultats en adaptant au tabouret des supports analogues à ceux qu'a imaginés M. Mascart. On pourrait aussi noyer les pieds du tabouret dans de la paraffine contenue dans une enveloppe en bois. On peut également, suivant le conseil du Dr Danion[1], isoler le malade au moyen d'une plaque épaisse de caoutchouc.

III. *Conducteurs.* —La machine est mise en communication avec le tabouret au moyen de conducteurs. On peut varier la forme de ces conducteurs suivant les besoins de la pratique. Ce sont généralement des tiges de laiton terminées par des crochets qui permettent de les attacher à un anneau porté par le conducteur de la machine.

[1] *Guide pratique d'électrothérapie* du Dr Onimus.

IV. *Excitateurs.* — On appelle ainsi les accessoires qui permettent de tirer des étincelles du corps du malade, de produire la friction, le souffle, les aigrettes.

L'excitateur (fig. 25) ordinaire se compose d'une tige en substance isolante, verre, ébonite, mastiquée dans une monture métallique qui porte un crochet et un pas de vis, sur lequel on peut visser : 1° des sphères en métal ou en bois de divers diamètres qui servent à produire les étincelles ou la friction ; 2° les pointes en bois ou en métal qu'on emploie pour le souffle ou l'aigrette.

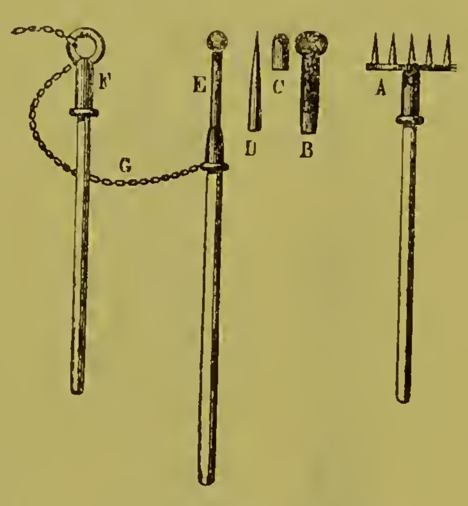


Fig. 25. — Excitateurs divers — E F manches isolants réunis par la chaîne traînante G. A B C D excitateurs sphériques et terminés en pointe.

Au crochet on attache la chaîne dite traînante G qui passe dans un anneau métallique F qui termine une pièce cylindrique mastiquée sur une tige isolante.

Le médecin tient la première tige de la main droite, la deuxième de la main gauche et il dirige la chaîne qui traîne sur le sol de façon à l'écarter de son corps et de celui du malade.

Dans certains cabinets d'électrothérapie, des bandes métalliques nombreuses couvrent le parquet, et sont en communication avec les conduites d'eau ou de gaz. La chaîne métallique traînante qui touche le sol ainsi que l'excitateur sont amenés de cette façon au potentiel O. On conseille avec raison, pour que la communication avec le sol soit bien assurée, de ne pas recouvrir le parquet d'un tapis.

Si on emploie des excitateurs en bois, substances imparfaitement conductrices, l'écoulement de l'électricité, au moment de la décharge, se produit moins brusquement. Ces excitateurs sont utilisés pour obtenir des effets moins

énergiques que ceux qu'on produit avec les excitateurs ordinaires.

V. *Excitateur de Boudet.* — Pour obtenir des étincelles ayant toujours la même longueur, le Dr Boudet emploie un excitateur (fig. 26) formé par un tampon de charbon recouvert d'une peau de chamois mouillée en communication avec une sphère métallique logée dans un tube de verre. Une deuxième boule est reliée à une tige qu'on peut enfoncer plus ou moins profondément dans l'intérieur du tube, de sorte que les deux boules peuvent être maintenues à des distances variables. La tige est reliée à la terre. Si on veut obtenir des aigrettes, on substitue à la boule mobile une olive terminée par une pointe mousse. Il serait désirable que la vis mobile fût disposée comme celle du palmer[1], ce qui permettrait de mesurer exactement la distance explosive.



Fig. 26. — Excitateur du Dr Boudet, construit par Gaiffe. Prix: 15 f. E tampon qu'on place sur le malade. B boule mobile qu'on déplace avec la tige C munie d'un pas de vis. B′ boule fixe reliée au tampon.

VI. *Cloche électrique. Disque à pointes.* — En Allemagne on emploie, sur le conseil du Dr Benedikt, un excitateur qu'on appelle la cloche électrique.

C'est une demi-sphère creuse (fig. 29), à bords tranchants, qui est reliée au sol et qu'on dispose au-dessus de la tête du malade placé sur le tabouret. Les bords de la cloche peuvent être considérés comme résultant du fusionnement d'un grand nombre de pointes métalliques qu'on aurait soudées par leurs parties latérales.

[1] Le palmer est un instrument fort utilisé pour la mesure du diamètre des fils métalliques. La pièce essentielle est une vis micrométrique terminée par une pointe mousse dont la distance à une autre pointe fine est mesurée par deux graduations. L'une appartient à l'écrou, l'autre à la tête de la vis.

Chardin substitue à cet excitateur un disque métallique soutenant un grand nombre de pointes (fig. 27).

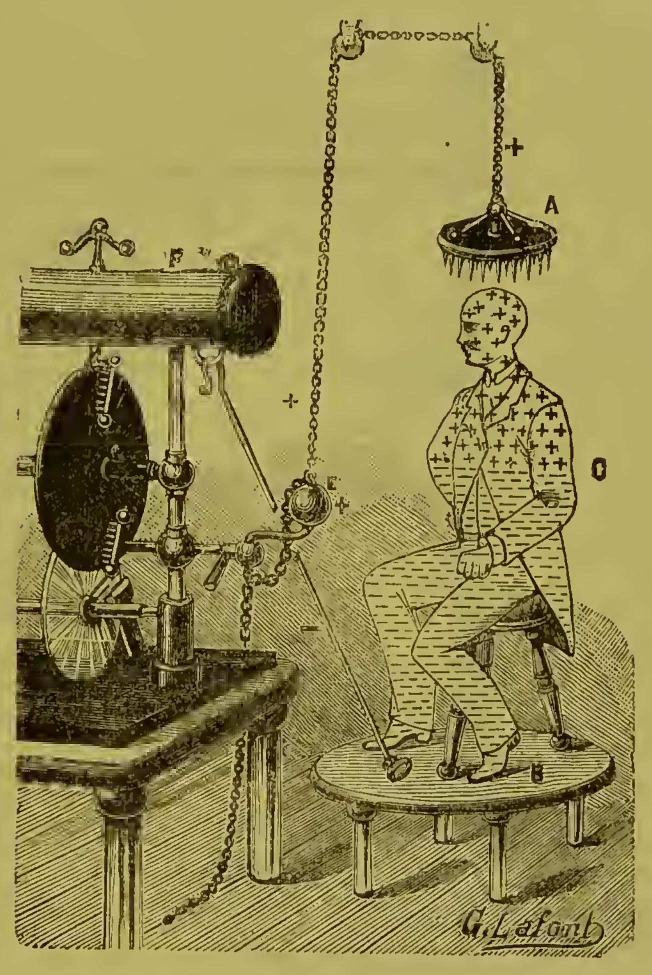


Fig. 27. — Le malade B placé sur le tabouret est soumis à l'action de l'excitateur de Chardin ; disque armé de pointes. Le pôle négatif de la machine Carré communique avec le tabouret. son pôle positif est relié à la terre et au disque excitateur par une chaîne. Cet accessoire coûte 60 fr.

VII. *Supports pour l'électrisation prolongée.* — Lorsque l'action de l'électricité sur une région déterminée du corps doit être prolongée pendant quelque temps, l'excitateur est maintenu devant les points à électriser. M. Ducretet construit, dans ce but, des supports isolants SS (fig. 28) soutenus par un pied P*i*. Le manche isolant de l'excitateur ordinaire I est muni d'un curseur qu'on peut maintenir sur le support à une hauteur convenable au moyen d'une vis de pression. Sur le pas de vis de l'excitateur, on peut visser les pièces marquées dans la figure (6, 7, 8, 9, 10, 11).

La fig. 29 représente les supports construits pour le même usage par la maison Blänsdorf (de Francfort).

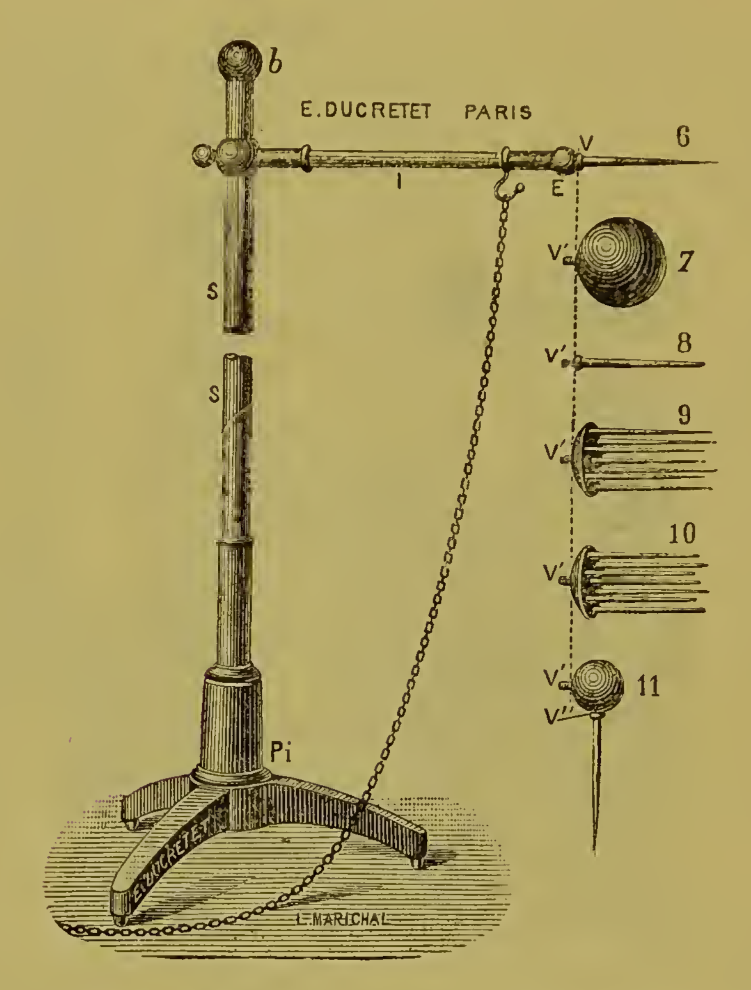


Fig. 28. — Support de M. Ducretet pour immobiliser l'excitateur. S S tige isolante. P*i* trépied. E pièce métallique sur laquelle se vissent les divers excitateurs (6, 7, 8, 9, 10, 11). Prix : 60 fr.

VIII. *Appareils de chauffage.* — La machine Wishmhurst fonctionne à peu près par tous les temps, surtout si elle est logée dans une cage de verre dont l'air est desséché soit par l'acide sulfurique, soit par le chlorure de calcium. Si elle tarde à s'amorcer, il suffit d'approcher de la machine un bâton de verre ou d'ébonite frotté avec de la laine pour entendre le bruissement particulier qui annonce que la machine fonctionne.

La machine Carré est plus sensible à l'humidité. Cependant il suffit de la chauffer légèrement pour que l'amorce-

ment se produise. La machine ordinaire est montée sur une table au-dessous de laquelle on allume des lampes à alcool, des réchauds à gaz ou à charbon. La machine Holtz-Carré disposée sous une cage de verre est chauffée par quelques morceaux de charbon de Paris, allumés dans la cage même. Le Dr Vigouroux chauffe la machine Carré avec un chauffe-pieds Stocker.

IX. *Ozoneur*. — Beaucoup d'auteurs attribuent un rôle important à l'ozone qui se produit autour d'une machine électrique en activité. Ce serait à lui que seraient dus les effets calmants et hypnotiques du bain électrostatique. Les aspirations d'air ozonisé produiraient d'après le Dr Labbé d'excellents effets dans l'anémie et la tuberculose.

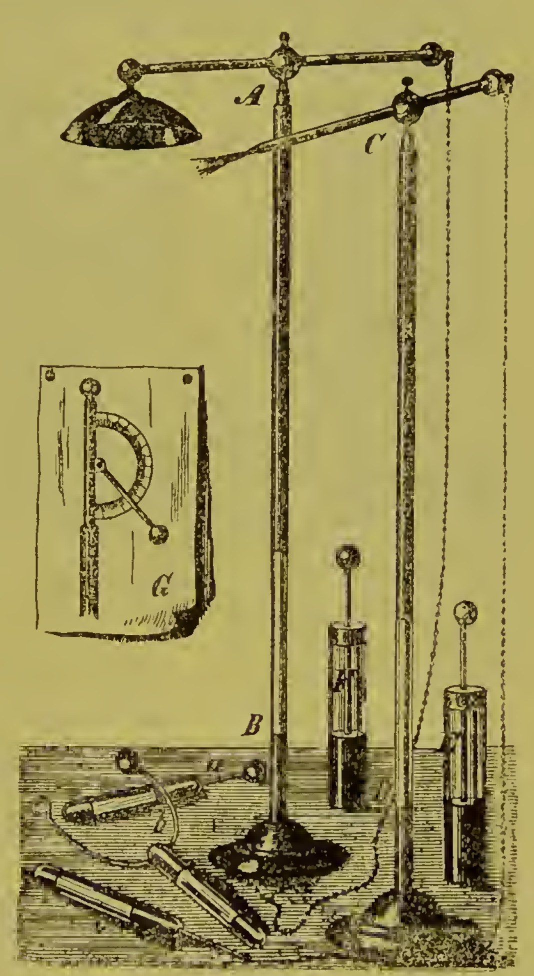


Fig. 29. — Accessoires de la machine électrostatique de la maison Blänsdorf (de Francfort). — A B cloche pour la douche électrique. C appareil ozonique. EF bouteilles de Leyde. G électromètre de Henley. *a* excitateur à boule. *b* excitateur à pointe. *c* excitateur double.

Les machines allemandes sont munies d'appareils qui servent à obtenir un courant continu d'air ozonisé.

Seguy a construit récemment des appareils simples qui fournissent de l'air ozonisé en quantité suffisante pour les besoins médicaux (fig. 29).

L'un d'eux se compose d'un tube large (fig. 30) qui présente deux orifices E et S, l'un destiné à l'entrée de l'air et l'autre à sa sortie. Ce dernier est évasé en entonnoir et reçoit

la bouche du malade. Dans l'intérieur sont de petits tubes traversés par des tiges de maillechort, toutes reliées entre elles et à une boucle en platine *a* extérieure au tube large.

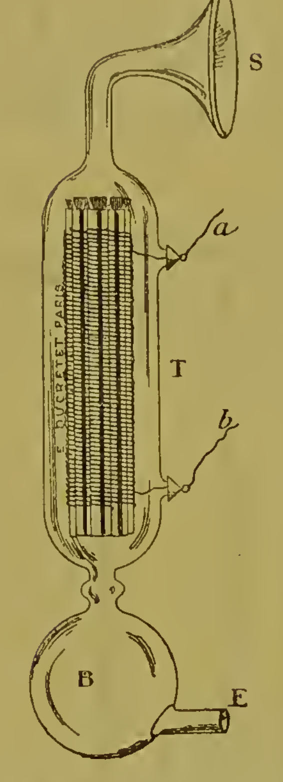


Fig. 30.— Ozoneur de Seguy. L'air entre en E. sort en S. La boule B est légèrement chauffée. T tube *a b* fils de platine reliés aux fils de maillechort. Prix : 25 fr. (Ducretet).

Autour des tubes intérieurs sont des spirales de maillechort reliées entre elles et à une seconde boucle en platine extérieure *b*. On chauffe légèrement avec une lampe à alcool[1]. Le tube, forme cheminée, et si les deux boucles sont reliées aux deux pôles de la machine en activité, l'air qui la traverse, passant dans les tubes étroits, est soumis à l'effluve[2] et s'ozonise.

Dans les machines Wishmhurst, que construit Ducretet l'axe est creux et est terminé par un embout métallique sur lequel on peut fixer un tube en caoutchouc. L'air qui passe entre les deux plateaux, soumis à l'effluve, s'ozonise et est entraîné si l'axe est mis en communication avec un aspirateur. Il n'est pas difficile d'imaginer telle disposition qui permettra de le mettre à la disposition des malades.

X. *Cage.* — La machine à influence est logée dans une cage à parois de verre encastrées dans des cadres en bois (fig. 31). La cage est traversée par la partie des conducteurs qui soutient deux tiges conductrices munies à une de leurs extrémités de manches isolants et à l'autre extrémité de boutons de diamètres déterminés.

[1] L'ozone se détruisant à une température de 250°, il faut chauffer avec beaucoup de précaution.

[2] On désigne sous le nom d'effluve la décharge obscure qui se produit entre les armatures d'un condensateur à travers la lame isolante. Dans l'appareil de Seguy, les tiges et les spirales de maillechort sont les armatures des condensateurs dans lesquels les tubes de verre jouent le rôle de lames isolantes.

Il nous paraît utile d'immobiliser l'une de ces tiges et de remplacer la tige mobile par une boule reliée à une vis disposée comme celle du palmer pour mesurer la distance explosive et par suite le potentiel sous lequel fonctionne la machine.

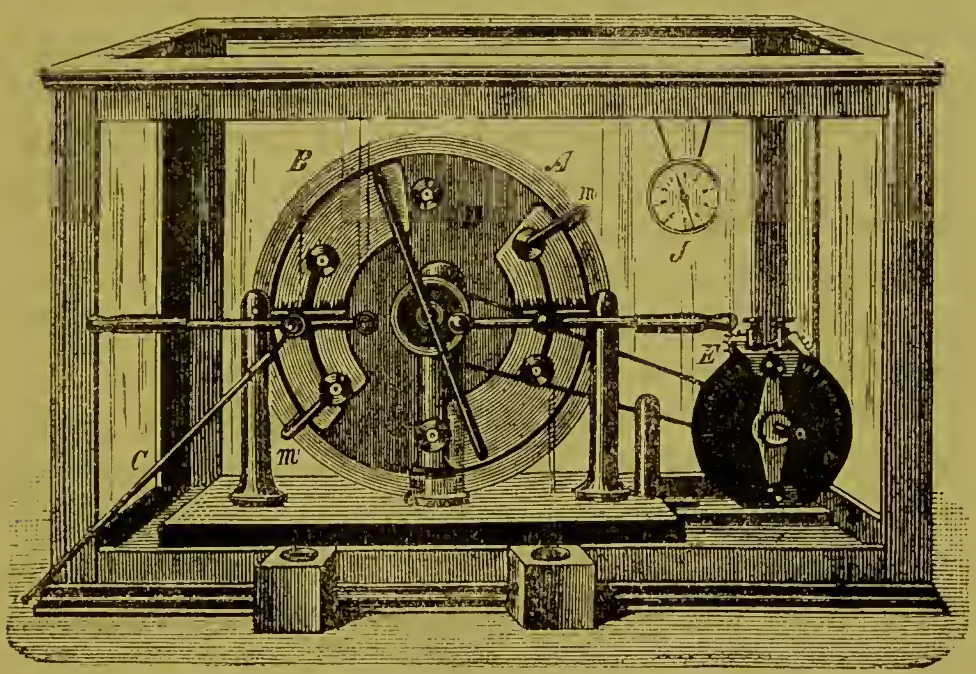


Fig. 31. — Machine de Voss, de la maison Blänsdorf (de Francfort), dans sa cage avec le moteur. E l'hygromètre. C tige conductrice allant au tabouret. L'appareil complet avec plateau de 52 centim., moteur, pile pour l'actionner, etc., coûte 750 fr.

La cage et la machine sont soutenues par une table qui permet de les placer à une hauteur commode pour les applications.

On maintient la dessiccation de l'air intérieur avec du chlorure de calcium fondu.

Les machines allemandes sont en outre munies d'un hygromètre, qui indique le degré de dessiccation de l'air intérieur, et d'un électromètre de Henley qui permet d'apprécier le potentiel.

XI. *Condensateurs*.— Les machines électriques médicales doivent ordinairement fonctionner sans condensateur.

Les dimensions des conducteurs doivent être suffisantes pour que le débit de la machine convienne aux usages élec-

trothérapiques. Il faut pour cela que le diamètre des plateaux soit au moins de 45 centim.

Le Dr Vigouroux emploie, à la Salpêtrière, une machine Wishmhurst dont le plateau a 70 centim. de diamètre.

Dans certains cas d'anesthésie rebelle, il convient de renforcer les étincelles par la commotion électrique.

Dans ce but, deux bouteilles de Leyde communiquent avec les pôles de la machine par leurs armatures intérieures. Les armatures extérieures sont reliées par une bande métallique. Les bouteilles sont, comme nous le verrons bientôt, associées en cascade.

La capacité de ces bouteilles étant connue, on peut, sans avoir recours à la bouteille de Lane, déterminer le débit de la machine pour une distance explosive déterminée.

Les électriciens allemands emploient des excitateurs condensateurs mobiles dont les armatures intérieures sont reliées aux deux pôles de la machine et dont les armatures extérieures sont placées sur les points du corps entre lesquels on veut faire passer la décharge conductive du condensateur.

Le procédé suivi en France est beaucoup plus simple.

56. — Entretien des machines. — Le médecin doit prendre certaines précautions s'il veut que sa machine soit toujours en bon état de fonctionnement.

Il doit 1° s'assurer de l'état de son moteur. Si c'est un moteur électro-magnétique, les balais doivent être surveillés, et il faut prendre garde que les fils de l'un des balais ne touchent pas ceux de l'autre. Les balais étant reliés directement l'un à l'autre, le moteur ne fonctionnerait pas;

2° Les tourillons des divers axes doivent être bien huilés; on se sert pour cela avec avantage d'oléonaphte;

3° Les courroies de transmission doivent être en bon état et leurs extrémités solidement reliées l'une à l'autre. On doit toujours avoir plusieurs courroies de rechange pour parer à tout accident. Le mieux est de prendre pour cet

usage des cordes à boyaux de deux millimètres d'épaisseur ;

4° La machine doit être sous une cage dont l'air est bien desséché avec du chlorure de calcium fondu, et il est bon d'avoir un poêle qui dessèche l'air de la pièce par les temps humides ;

5° Si la machine sert tous les jours, il faut au moins tous les trois mois la démonter et revernir les plateaux à la gomme laque après les avoir bien essuyés ;

6° Si les plateaux sont en ébonite (machine Carré) on les remet dans de bonnes conditions de fonctionnement : 1° en les lavant à l'eau ; 2° en les frottant jusqu'à dessiccation ; 3° en mouillant leur surface avec l'huile de paraffine sodée (1 litre de paraffine pour 30 gram. de soude) ;

7° Si on emploie une machine Wishmhurst, il faut bien entendu renouveler les secteurs, s'ils se détachent des plateaux ou s'ils se déchirent et les fixer avec un vernis à la gomme laque ;

8° Les balais usés doivent être remplacés ;

9° Il faut avoir soin d'essuyer les parois de la cage non pas avec des chiffons toujours plus ou moins humides mais avec du papier à filtre ou de la soie chauffés ;

10° La machine doit être éloignée des murs de la pièce, s'ils sont couverts d'une tapisserie. Lewandowski[1] avait une machine placée près des murs de son cabinet qui, malgré son excellente construction, ne voulait pas fonctionner. Il eut l'idée de se placer dans l'obscurité et il vit de tous les points de la tapisserie, qui portait des ornements dorés, jaillir des aigrettes. La tapisserie se comportait comme un feutrage de pointes reliées au sol qui empêchaient la machine de se charger. Il mit sa machine au milieu de la pièce et elle marcha parfaitement.

[1] Lewandowski ; *Electrodiagnostic und electrotherapie*, pag. 16.

CHAPITRE V.

CONDENSATEURS.

---

57. — Généralités. — C'est avec la bouteille de Leyde, découverte en 1745 par Cuneus, que furent faites les premières applications de l'électricité à la thérapeutique. On pensa que la décharge de ce condensateur qui provoque les contractions musculaires devait faire disparaître les causes qui les suppriment, et c'est ainsi que la commotion (nom sous lequel on désigna la décharge de la bouteille) fut utilisée pour le traitement des paralysies. Appliqué sans mesure, d'une façon brutale, ce procédé provoquait de l'irritation chez les malades, des douleurs, de l'insomnie. Malgré les succès de Jallabert et de de Haën rapportés par les auteurs du XVIIIe siècle, on peut dire que la commotion ne donna que des résultats assez médiocres. C'est le professeur Sauvages, de Montpellier, qui montra que les étincelles de la machine employées seules sans condensateur étaient bien mieux acceptées par les malades et donnaient des succès plus rapides.

Aujourd'hui la commotion avec la bouteille n'est plus employée que très exceptionnellement. Des commotions plus graves peuvent être produites par les puissants condensateurs qu'on désigne sous le nom de batteries électriques. Il est intéressant pour le médecin de connaître leurs effets. Ils lui permettent de comprendre les phénomènes qu'il a l'occasion d'observer dans les cas de fulguration.

Un condensateur est toujours un appareil de grande capacité électrique constitué par deux lames ou deux corps conducteurs séparés par une substance isolante.

58. — Condensateur d'Oépinus. — Prenons pour exemple le condensateur d'Oépinus (fig. 32) constitué par deux plateaux isolés séparés par une lame d'air ou de verre. On charge ordinairement ce condensateur en mettant un des plateaux en communication avec la machine et l'autre avec le sol.

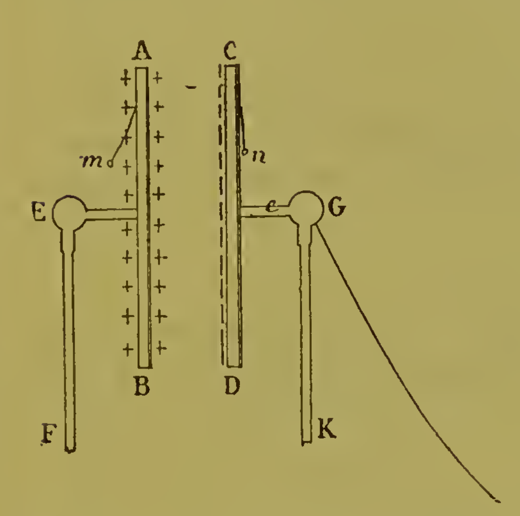


Fig. 32. — Condensateur d'Oépinus. AB plateau collecteur. CD plateau condensateur. EF. GK supports isolants. *m* et *n* pendules électriques.

Le premier plateau est le plateau collecteur. Le second, le plateau condensateur.

AB étant le plateau collecteur, CD est le plateau condensateur.

La source électrique fournissant de l'électricité positive, on voit facilement que AB est électrisé positivement, que CD est chargé par influence d'électricité négative.

Le premier plateau étant séparé du second, si on le met en communication avec la machine il se met au potentiel V de cette machine, sa capacité électrique étant C il prend une charge $Q = CV$.

Le condensateur étant formé, et le plateau collecteur communiquant de nouveau avec la machine, se met toujours au potentiel V, mais la présence du plateau condensateur a augmenté considérablement la capacité du plateau collecteur[1], qui est devenue C' beaucoup plus grande que C, de sorte que la charge que prend ce plateau $Q' = C'V$ est aussi beaucoup plus grande que dans le premier cas.

Le plateau seul, chargé, possédait une énergie égale à

[1] Nous avons vu plus haut que la capacité d'un conducteur n'était pas une quantité constante, mais qu'elle pouvait être modifiée par la présence de conducteurs voisins.

$\frac{1}{2}$ CV²; lorsqu'il fait partie du condensateur son énergie est devenue $\frac{1}{2}$ C′ V².

Les condensateurs peuvent être considérés comme des accumulateurs d'énergie. Cette énergie est à l'état potentiel pendant la charge. Elle devient actuelle au moment de la décharge.

59. — Bouteille de Leyde. — Le condensateur le plus fréquemment employé est la bouteille de Leyde (fig. 33).

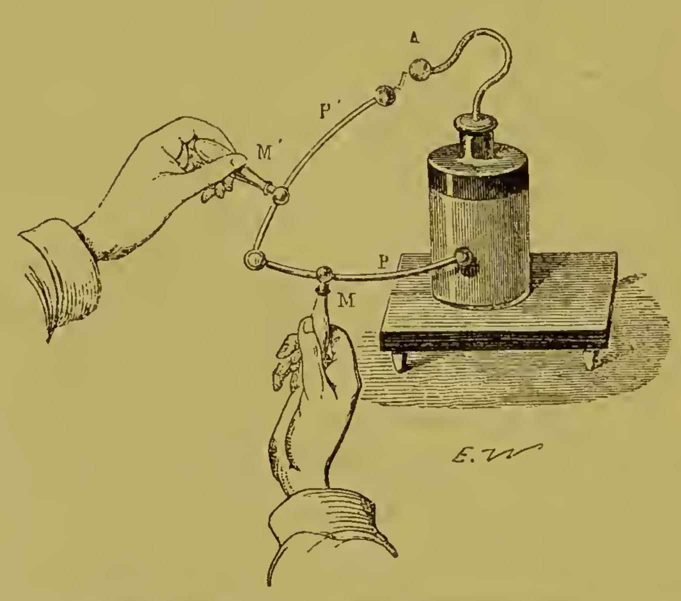


Fig. 33. — Bouteille de Leyde. Le condensateur étant chargé, on le décharge avec l'excitateur PP′. MM manches isolants.

C'est un flacon en verre sur la paroi extérieure duquel on a collé une feuille d'étain. A l'intérieur sont des lames métalliques qui communiquent avec une tige conductrice terminée à l'extérieur par un bouton et qui traverse un bouchon fixé dans le goulot du flacon. La bouteille joue le rôle de la lame isolante du condensateur d'Oépinus ; la feuille d'étain collée sur la paroi extérieure représente le plateau condensateur. On lui donne le nom d'armature extérieure.

Les parties métalliques qui sont dans l'intérieur de la bouteille forment avec la tige métallique l'armature intérieure. Cette armature intérieure représente le plateau collecteur du condensateur d'Oépinus.

60. — Capacité d'un condensateur. — La théorie du condensateur montre que sa capacité est représentée par la formule

$$C = \frac{S}{4 \pi e}$$

S étant la surface des armatures et e l'épaisseur de la lame isolante. $\pi = 3,1415$.

On augmente donc la capacité d'un condensateur et par suite son énergie en augmentant la surface des conducteurs et en diminuant l'épaisseur de la lame isolante qui les sépare.

L'épaisseur du milieu isolant ne peut pas être diminuée indéfiniment parce que les électricités de nom contraire qui se trouvent sur les conducteurs se réuniraient directement en perçant cette lame. Mais la surface conductrice peut être augmentée autant qu'on le veut.

61. — Batterie électrique. — C'est ce que l'on réalise en particulier dans les batteries électriques, association de grosses bouteilles ou jarres (fig. 34).

Les armatures intérieures communiquant entre elles, les armatures extérieures étant aussi reliées les unes aux autres par la feuille d'étain qui tapisse l'intérieur de la caisse dans laquelle les jarres sont logées, tout se passe comme si on avait un seul condensateur dont la surface est la somme des surfaces conductrices des bouteilles associées.

L'énergie accumulée dans les batteries pendant la charge à l'état d'énergie potentielle devient énergie actuelle dans les expériences si connues de volatilisation d'un fil métallique, d'une feuille d'or (expérience du portrait de Franklin)

dans la rupture des corps mauvais conducteurs (expérience du perce-carte, du perce-verre).

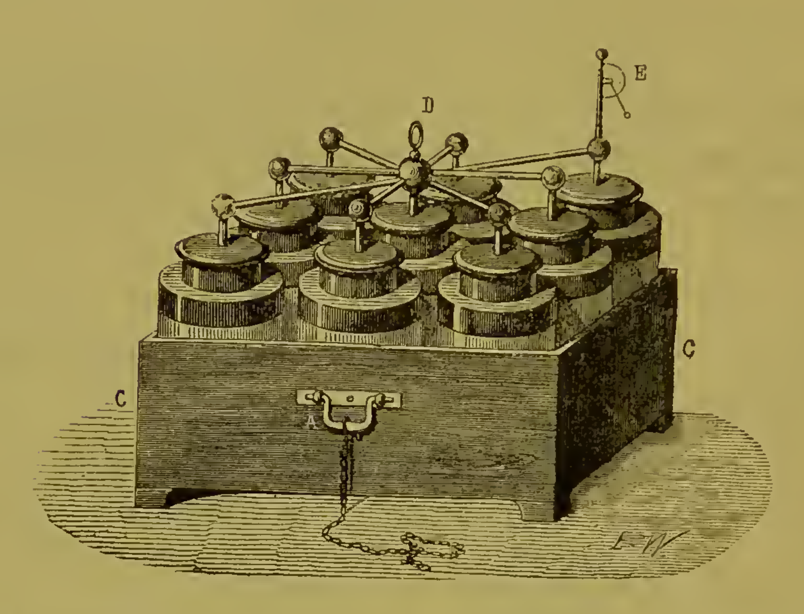


Fig. 34. — Batterie électrique. C caisse en bois tapissée intérieurement d'une feuille d'étain qui renferme les jarres Toutes les armatures intérieures sont réunies entre elles et à l'anneau D. E électromètre de Henley.

62. — Condensateurs associés en cascade. — Les condensateurs sont associés en cascade quand l'armature d'un condensateur chargée d'une certaine électricité communique avec l'armature d'un autre condensateur chargée d'une électricité de nom contraire. Celui-ci peut de la même façon être associé à un troisième condensateur.

Les pôles des machines médicales sont dans certains cas reliés à deux bouteilles de Leyde qui ont sensiblement la même capacité et qu'on associe en cascade.

Les armatures intérieures des deux bouteilles sont reliées, l'une au pôle positif, l'autre au pôle négatif par des crochets. Les armatures extérieures sont en communication au moyen d'une bande métallique.

Les électricités positive et négative qui chargent les armatures intérieures agissent par influence sur les armatures extérieures attirant l'électricité de nom contraire. Les

électricités repoussées s'unissent à travers le conducteur qui réunit les deux armatures extérieures.

63. — Applications médicales. — La décharge d'une bouteille de Leyde produit une secousse violente de l'engourdissement et des douleurs dans les articulations.

Tyndall, ayant reçu par mégarde la décharge d'une batterie de 15 bouteilles, perdit totalement connaissance. Cette syncope dura quelques instants. Lorsqu'il revint à lui, le sens de la vue était perverti. Son corps lui parut formé de plusieurs morceaux. Il lui sembla que les bras étaient séparés du tronc.

Duchenne a soumis des animaux aux décharges de batteries de 9 à 18 grandes jarres. Les petits animaux seuls étaient tués. Les autres éprouvaient seulement de la commotion générale, de la stupeur, du tétanisme. Les animaux foudroyés présentaient à l'autopsie des ecchymoses, sous la plèvre et sous le péricarde, de couleur noirâtre. Les poumons étaient engorgés.

On provoque chez le lapin des paralysies passagères en le soumettant aux décharges des condensateurs.

Les actions violentes produites par les batteries à grande surface ne permettent pas de les employer dans les applications thérapeutiques.

L'étincelle fournie par une bonne machine est suffisante pour provoquer la contraction musculaire et produire une vive révulsion sur la peau. Cependant nous avons dit que, lorsque les conducteurs de la machine ont une faible capacité, on leur associe 2 petites bouteilles de Leyde. Les conducteurs communiquent avec les armatures intérieures des 2 bouteilles, les armatures extérieures sont reliées entre elles.

64. — Effets produits par la foudre. — La foudre produit des effets comparables à ceux qu'on obtient avec les puissantes batteries.

On a constaté plusieurs fois dans les cas de fulguration la rupture des tissus mauvais conducteurs. Les os du crâne et des membres sont fracturés. Les bras sont arrachés du tronc. Les poumons, le cerveau sont congestionnés.

On a observé sur la peau des individus foudroyés des traces noirâtres formant parfois des figures régulières produites par la volatilisation des corps conducteurs, médailles, chaînes de montre, boutons que le blessé avait sur lui.

Les décharges électriques fulgurantes correspondent à des quantités d'énergie incomparablement plus grandes que celles que nous pouvons accumuler dans nos batteries.

Il en résulte des manifestations qu'on ne peut pas reproduire dans les laboratoires.

L'individu fulguré peut succomber sur place, mais il peut être aussi jeté par terre et transporté à 4, 6 et 24 mèt. La peau peut être intacte, mais on observe fréquemment des brûlures au deuxième degré. L'individu foudroyé est souvent tué. Dans tous les cas, il perd connaissance et après l'accident il est presque toujours atteint de troubles nerveux, de désordres intellectuels, de paralysie, d'hystérie traumatique.

65. — Électroscope condensateur. — L'électroscope condensateur est une application intéressante du condensateur, imaginée par Volta.

C'est un électroscope ordinaire dont le bouton supérieur est remplacé par un plateau métallique verni sur sa face supérieure. Un deuxième plateau métallique verni sur sa face inférieure et qu'on peut déplacer au moyen d'un manche isolant en verre, est disposé sur le premier.

Les deux plateaux séparés par le vernis isolant constituent un condensateur.

L'appareil sert à reconnaître l'électricité produite par une source faible.

On la met pour cela en communication avec le plateau inférieur, le plateau supérieur communiquant avec le sol.

Les lames ne divergent pas. Elles divergent au contraire si on enlève la source et si on soulève le plateau supérieur.

Pour reconnaître la nature de l'électricité dont sont chargées les lames, on approche de l'électroscope un corps électrisé positivement, par exemple. S'il y a rapprochement puis écartement des lames, elles sont électrisées négativement. Elles sont électrisées positivement si elles divergent davantage.

66. — Condensateurs employés pour doser l'électricité. — Les condensateurs permettent de mesurer l'énergie qu'on fournit au malade dans une décharge électrique et par conséquent de doser véritablement l'électricité.

Un condensateur de capacité C chargé à un potentiel V possède une énergie égale à $\frac{1}{2}CV^2$.

C'est cette énergie que fournit le condensateur dans une décharge.

La capacité C se mesure par un procédé que nous indiquerons dans la deuxième partie. Elle peut être donnée par le constructeur en livrant l'instrument.

Le potentiel V dépend, comme nous l'avons dit, de la longueur des étincelles et peut être considéré comme proportionnel à la distance explosive quand elle est petite.

La distance explosive est la distance qui sépare les boutons conducteurs entre lesquels se produit la décharge des condensateurs.

67. — Bouteille de Lane. — Cette distance se mesure facilement quand on emploie la bouteille de Lane (fig. 35). Elle diffère de la bouteille de Leyde en ce que l'armature extérieure est reliée à une tige métallique mobile EF. Une graduation permet de mesurer la distance qui sépare les boules A, E entre lesquelles jaillit l'étincelle de décharge.

En faisant varier la distance explosive, on produit la décharge sous des potentiels différents.

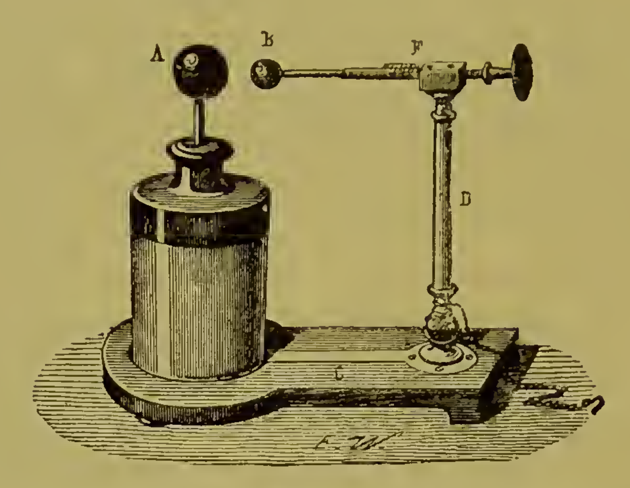


Fig. 35. — Bouteille de Lane. A bouton de l'armature intérieure. BF tige conductrice mobile reliée à l'armature extérieure.

La fig. 36 montre comment la bouteille de Lane peut être utilisée pour obtenir des décharges graduées. L'armature intérieure A de la bouteille C communique avec la

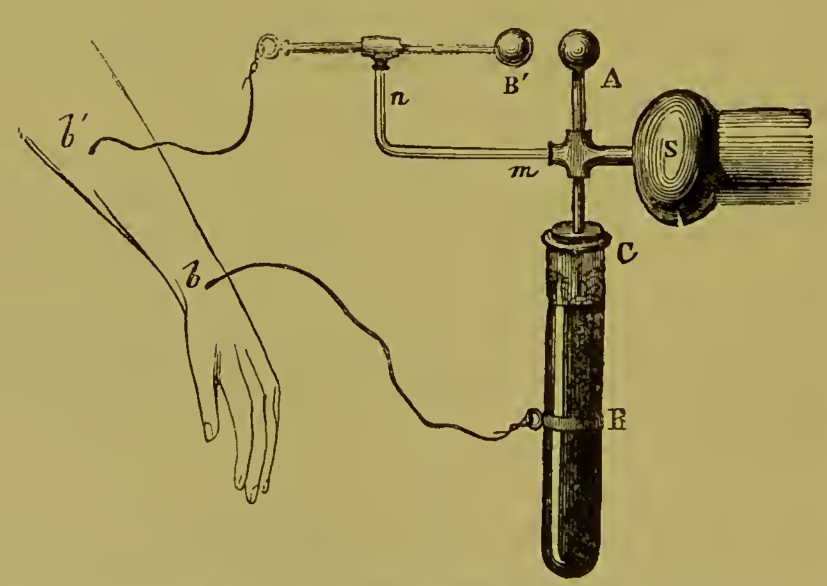


Fig. 36. — Bouteille de Lane disposée pour obtenir des décharges d'intensité variable à travers le corps humain.

machine S. L'armature extérieure B est reliée au corps par un conducteur. Un autre conducteur communique avec la

tige mobile terminée par le bouton B′ et isolée par *n m*. La bouteille se charge et se décharge successivement à travers la partie du corps *b b′* et à chaque décharge correspond une quantité d'électricité qui varie avec la distance AB.

68. — Condensateurs du Dr Mund — Au lieu d'employer la bouteille de Lane, le Dr Mund emploie trois condensateurs formés par deux lames d'étain collées sur les deux faces d'une plaque d'ébonite (fig. 37).

Leurs capacités sont entre elles comme les nombres 1, 2, 4. La distance explosive varie entre 1 et 6 millim.

Les énergies correspondantes aux trois condensateurs pour les diverses décharges sont contenues dans le tableau suivant en prenant pour unité l'énergie du condensateur 1 pour 1 millim. de distance explosive.

Potentiels distance explosive en millimètres................	1	2	3	4	5	6
Énergies. Condensateur I, capacité 1....	1	4	9	16	25	36
— II, — 2....	2	8	18	32	50	72
— III, — 4....	4	16	36	64	100	144

Le Dr Mund emploie le condensateur I dans le traitement des névralgies rebelles et dans certains cas d'anesthésie. Les condensateurs II et III lui servent pour l'excitation des nerfs et des muscles [1].

69. — Charge d'un condensateur au moyen d'une pile. — Les condensateurs ordinaires sont chargés en mettant leurs armatures en communication avec les deux pôles d'une machine qui fournit les deux électricités.

Ce procédé ne peut pas être employé quand on se sert de condensateurs dans lesquels la lame isolante très mince se laisserait facilement percer par les décharges.

[1] Edelmann; *Electrotechnick für Aerzte.*

On les charge au moyen d'une pile dont les deux pôles sont en communication avec les armatures.

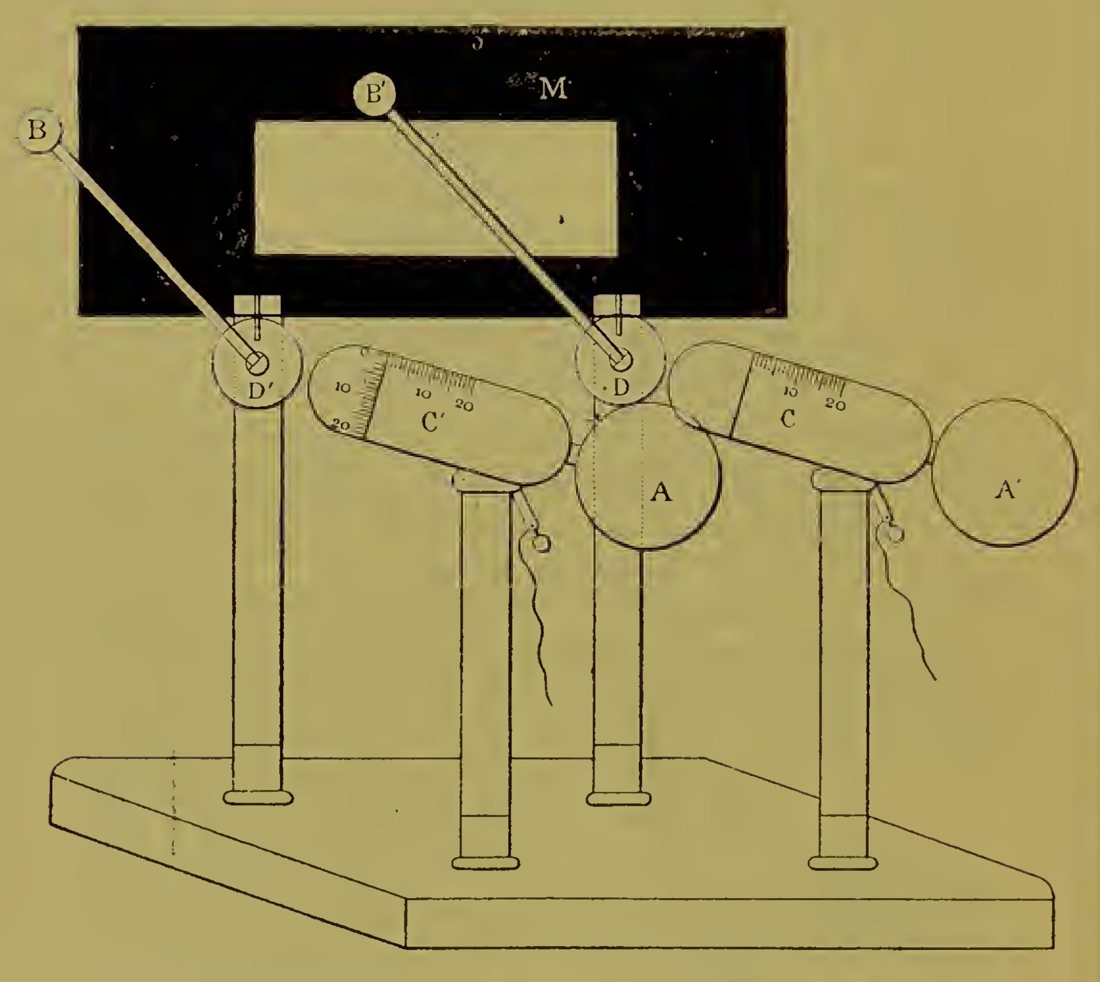


Fig. 37. — Condensateur du Dr Mund. Le condensateur M a ses deux armatures en communication avec les deux pôles de la machine et avec les boutons isolés D et D' au moyen des tiges B B'. A C' et A' C représentent deux micromètres à étincelles isolés. Les vis micrométriques sont dans deux enveloppes cylindriques en substance isolante. On les déplace au moyen des boutons A et A'. Leurs têtes portent 100 divisions. Le cylindre isolant est muni d'une graduation qui comprend 20 millim. L'étincelle jaillit entre D D' et les têtes arrondies des vis. La figure montre également les fils conducteurs qui permettent de mettre les vis en communication avec le malade. Les distances explosives se mesurent comme une longueur au moyen du palmer et peuvent être appréciées à $\frac{1}{100}$ de millimètre près.

Si on désigne par V et V' les potentiels des deux pôles,

l'énergie accumulée est $(V - V')^2 \frac{1}{2} C$ en unités électrostatiques.

C étant exprimé en farads, V — V' en volts.

L'énergie $= \frac{1}{20} C (V - V')^2$ en kilogrammètres.

Exemple $C = 1$ microfarad $= 0^f000001$. La pile a une force électromotrice de 10 volts $V - V' = 10$. L'énergie en kilogrammètres est $\frac{1}{20} \times 0{,}0000001 \times 10 = 0^{kgm}{,}0000005$.

70. — Étalons de capacité. — On emploie comme étalons de capacité des condensateurs constitués par des feuilles d'étain séparées par des lames de mica ou des feuilles de papier paraffiné. Les lames et les feuilles sont superposées comme les éléments d'une pile de Volta. Les feuilles d'étain paires sont réunies entre elles ainsi que les feuilles d'étain impaires. On obtient ainsi un condensateur de grande surface et par conséquent de grande capacité. Les armatures sont réunies à deux bornes qu'on peut mettre en communication avec les deux pôles d'une source électrique.

Le condensateur est disposé dans une boîte dans laquelle il est complètement isolé par de la paraffine coulée autour de lui.

Pour les recherches de laboratoire on a construit des boîtes de condensateurs disposées comme les boîtes de résistance qui renferment un microfarad et ses subdivisions.

Les bobines Ruhmkorff sont aussi munies d'un condensateur analogue à celui que nous venons de décrire.

71. — Condensateur du Dr Boudet. — C'est un condensateur du même genre qu'a employé le Dr Boudet dans des recherches de physiologie. Il se proposait d'exciter les nerfs et les muscles d'un animal sous l'action d'une énergie toujours semblable à elle-même.

C'est ce qu'il put réaliser en employant la décharge d'un condensateur de capacité déterminée chargé avec une pile de force électromotrice constante.

L'un des dispositifs qu'il a employé est facile à comprendre.

Le pôle positif (fig. 38) de la pile P est relié directement à une armature du condensateur C qui communique également avec un tampon excitateur.

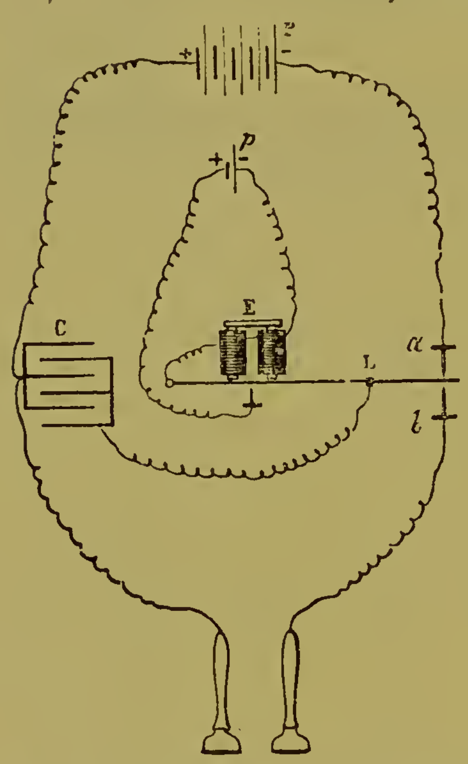


Fig. 38. — Condensateur du Dr Boudet. P pile de charge. C condensateur. *a b* tiges métalliques terminées en pointe entre lesquelles oscille la lame L. *p* pile accessoire qui anime l'électro-aimant E.

Le pôle négatif de P communique avec la pointe *a*. La pointe *b* est en communication avec un deuxième tampon excitateur.

Entre *a* et *b* se déplace une lame élastique en liaison métallique avec la deuxième armature de C. Ses mouvements se produisent comme ceux du marteau d'une sonnerie électrique par les interruptions et les fermetures du courant de la pile *p* qui anime l'électro-aimant E.

Chaque fois que la lame électrique touche la pointe *a*, le condensateur est chargé par la pile P. Il se décharge à travers l'organe sur lequel sont appliqués les tampons quand la lame touche la pointe *b*.

M. d'Arsonval reproche à ce procédé de fournir des courants de décharge de même sens qui amènent rapidement la polarisation de l'organe et une diminution de son excitabilité.

Il a modifié la méthode du Dr Boudet en lançant les

courants de décharge du condensateur dans la bobine inductrice d'une bobine médicale.

Chaque courant de décharge donne naissance à deux courants induits dans la bobine induite, et ce sont ces courants alternativement de sens contraire qui sont utilisés pour l'excitation. Tout phénomène de polarisation est ainsi évité[1].

[1] D'Arsonval; *Archives de Physiologie*, 1889, pag. 247.

CHAPITRE VI.

MÉTHODES D'ÉLECTRISATION STATIQUE.

---

72. — Généralités. — Ces méthodes sont encore, à l'exception de la douche électrique, celles qu'indique Mauduyt dans son *Mémoire sur les différentes manières d'administrer l'électricité*. Paris, 1784.

1° Le bain électrique ; 2° le souffle ; 3° l'aigrette ; 4° les étincelles ; 5° la douche électrique ; 6° la friction électrique; 7° la commotion.

73. — Bain électro-statique. — Le malade (fig. 39) est installé sur le tabouret qu'on a relié à un des pôles de la machine au moyen d'une tige conductrice. L'autre pôle communique avec le sol. La machine étant mise en activité, un courant continu d'électricité s'établit de la machine au tabouret, du tabouret au malade, du malade à l'air extérieur et au sol si le bain est positif. Le courant se produit en sens contraire si le bain est négatif, c'est-à-dire si le malade est en communication avec le pôle négatif. Ce n'est donc pas l'électricité en équilibre qui intervient mais l'électricité en mouvement.

L'équilibre ne peut pas avoir lieu parce que le jeu de la machine rétablit constamment la différence de potentiel entre deux points de la série des conducteurs interposés entre elle et le sol. L'écoulement électrique est facilité par les nombreuses pointes que présente le malade : cheveux, poils de la barbe et des vêtements.

Comme nous le verrons à propos des piles, l'intensité d'un courant électrique est le quotient de la force électromotrice, c'est-à-dire de la différence de potentiel entre deux points, par la résistance du conducteur.

On voit donc que l'intensité du courant qui traverse le corps est d'autant plus grande que la résistance est plus petite.

L'énergie d'un courant étant égale comme nous le verrons à EI augmente avec I et cette énergie, produit de la force électromotrice par l'intensité fournie en trop grande quantité au malade, peut être insupportable.

C'est ainsi que, d'après le Dr R. Vigouroux, les malades qui sont atteints de maladie de Basedow, dont la résistance est considérablement diminuée, ne peuvent pas supporter le bain électrique.

Les hystériques, dont la résistance est au contraire singulièrement augmentée, peuvent rester sur le tabouret des heures entières sans inconvénient.

Il convient donc, suivant le conseil du Dr R. Vigouroux, de déterminer avant tout traitement la résistance électrique du malade pour éviter tout mécompte.

Les sensations éprouvées sont quelquefois nulles. Le plus souvent, le déplacement de l'air provoque la sensation de toile d'araignée flottant sur le visage. Quelques malades accusent des chatouillements sur la tête, des sensations de chaleur, de la sueur aux extrémités.

« Le bain électrique, dit Mauduyt, offre un traitement utile et fort doux, mais il est lent. Il convient aux personnes délicates, extrêmement sensibles qui souffrent d'un traitement plus actif et qui ont de la peine à le supporter par l'agitation ou les autres incommodités qu'il leur procure. »

La durée du bain électrique peut varier de quelques minutes à plusieurs heures.

Les premières séances doivent être très courtes et permettent de tâter la susceptibilité du malade.

«Le bain électrique, dit Mauduyt, m'a paru propre à sonder le tempérament des malades, à prévoir les effets dont l'électricité pourra être suivie à leur égard ».

A la fin de la séance il faut arrêter la machine ou mettre le pied sur le tabouret pour ramener son potentiel à être

nul, on évite ainsi une étincelle qui peut se produire quand le malade met le pied sur le sol.

Le bain électrique peut constituer tout le traitement, mais il est généralement associé, du moins après les premières séances, aux autres modes d'électrisation.

74. — Souffle ou vent électrique. — Le malade étant placé sur le tabouret relié à la machine en activité (fig. 39),

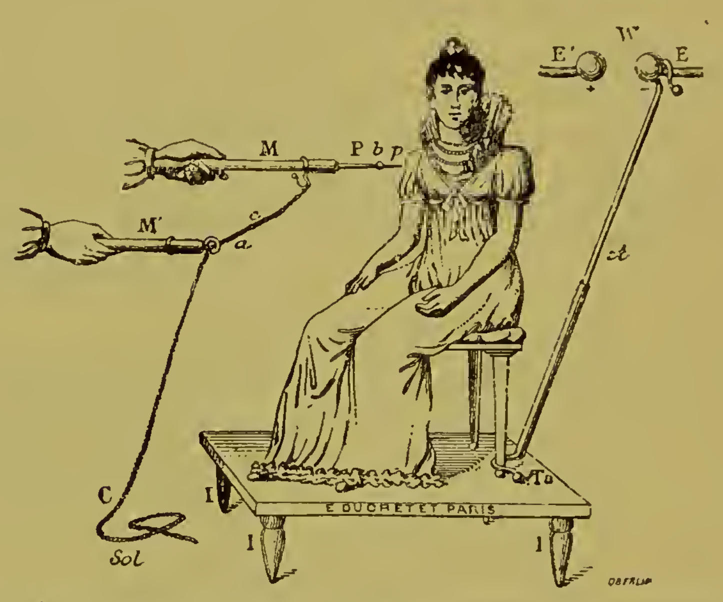


Fig. 39. — Électrisation statique. La malade est sur un tabouret T isolé par les pieds I en verre. La tige *cl* établit la communication avec le pôle négatif de la machine. La figure montre la disposition à donner à l'excitateur terminé par la pointe P*bp* pour produire le souffle.

le médecin approche de la partie du corps sur laquelle il veut agir l'excitateur armé d'une pointe ou de plusieurs pointes en le maintenant à une distance de 3 à 5 centim.

L'air électrisé est repoussé par la pointe et attiré par le malade chargé d'une électricité de nom contraire.

Ce mouvement de l'air, ce vent électrique donne la même sensation qu'un courant d'air frais ou tiède. D'après Boudet, le vent électrique se fait sentir sur une surface circulaire d'un diamètre égal à une fois et demi la distance de la pointe au malade D'après le D[r] R. Vigouroux, la pointe positive donne plus facilement le vent électrique.

On l'obtient donc plus aisément en mettant le tabouret en communication avec le pôle négatif.

Dans certains cas le malade doit être soumis au souffle pendant plusieurs heures. La pointe ou les pointes sont alors rattachées métalliquement au curseur de M. Ducretet que nous avons décrit plus haut (fig. 28).

Le souffle électrique jouit de propriétés calmantes remarquables. Il est de la plus grande efficacité dans bon nombre de névralgies.

75. — Aigrette. — Le médecin approche du malade installé comme précédemment une pointe mousse en bois ou en métal reliée au sol par la chaîne de l'excitateur et maintenue à une distance égale à 2 ou 3 centim. Une aigrette jaillit entre la pointe et le malade.

Les aigrettes positives et négatives correspondent comme nous le savons à des lueurs très différentes.

La lueur violacée est accompagnée d'un crépitement particulier. La peau rougit et le malade éprouve une sensation de piqûre généralement bien supportée.

L'aigrette provenant d'une pointe de bois imparfaitement conductrice est plus douloureuse que celle produite par une pointe métallique. L'aigrette est tantôt sédative, tantôt excitante. Elle est surtout employée pour produire une révulsion légère sur des parties sensibles telles que la face.

76. — Douche électrique. — Ce mode d'électrisation a été employé surtout en Allemagne par Benedikt et Stein. Ils s'en sont servi avec succès dans l'épilepsie.

Le malade, placé sur le tabouret, a la tête au-dessous d'une cloche hémisphérique à bords tranchants reliée au sol et portée par un support isolant (fig. 20). La cloche est maintenue à une hauteur suffisante pour que l'étincelle ne puisse pas jaillir entre elle et la tête. Les bords de la cloche peuvent être considérés comme provenant de la réunion d'un grand nombre de pointes. Aussi la douche électrique n'est-elle qu'une variante du souffle électrique.

Le constructeur Chardin a remplacé la cloche par un plateau métallique armé d'un grand nombre de pointes qui produit le même résultat (fig. 30).

Les auteurs allemands attribuent à ce procédé des effets calmants très remarquables. Ils l'emploient avec avantage pour faire cesser des insomnies persistantes.

77. — Étincelles électriques. — On les obtient en armant l'excitateur d'une boule métallique de diamètre variable. La boule étant approchée suffisamment, une étincelle jaillit entre le malade et l'excitateur. La capacité de la boule croissant avec son rayon, pour une certaine distance explosive, c'est-à-dire, pour un potentiel déterminé, la quantité d'électricité $Q = CV$ qui intervient dans la décharge est d'autant plus grande que la boule est plus grosse. En faisant varier soit la distance de l'excitateur, soit la grosseur de la boule, on donne aux deux termes qui entrent dans l'expression de l'énergie $E = \frac{1}{2} VQ$ des valeurs très différentes. L'énergie utilisée et par conséquent les effets physiologiques et thérapeutiques peuvent être très différents.

Certains électriciens atténuent l'effet produit par l'étincelle en déchargeant partiellement le malade au moyen d'une pointe ou de la chaîne de l'excitateur qu'ils approchent du tabouret.

Les étincelles électriques produisent sur la peau une action révulsive énergique et une impression de choc douloureux.

Dirigées sur les points moteurs et sur les muscles, elles provoquent des contractions très vives qui se produisent encore quand le muscle ne répond plus au courant faradique.

La contraction, de courte durée quand l'étincelle est isolée, devient tétanique quand on fait agir sur les muscles des étincelles très rapprochées.

Pour bien localiser l'étincelle, il convient d'employer

l'excitateur à tampon et à boule mobile que nous avons décrit plus haut (fig. 26).

78.—Friction électrique. - La boule de l'excitateur est promenée tout en l'appuyant sur la surface des vêtements du malade. Des étincelles très courtes mais parfois très douloureuses jaillissent à travers le tissu des vêtements entre l'excitateur et la peau. La sensation provoquée est celle d'une brûlure d'autant plus vive que la friction est plus lente.

« La friction, de même que les étincelles, dit le Dr R. Vigouroux, exerce une action locale excitante et des actions éloignées ou réflexes dont l'effet total est sédatif. De même que l'aigrette, elle stimule la sensibilité cutanée et elle est utile dans l'anesthésie en plaques. »

79.—Commotion.—Dans ce procédé on munit les conducteurs de la machine de leurs condensateurs. L'un des pôles est relié au sol, l'autre est en communication avec le tabouret. L'excitateur qui communique avec le sol par sa chaîne traînante est approché du malade, et à la distance explosive une étincelle jaillit. Il est facile de voir que dans ces conditions le malade fait partie de l'une des armatures d'un condensateur. Il est traversé quand l'étincelle jaillit par le courant de décharge[1].

La commotion éprouvée est très vive, très douloureuse, et les muscles se contractent violemment.

Pour obtenir des commotions correspondant à une distance explosive constante, Mauduyt, à l'exemple de Carvallo, employait la bouteille de Lane avec la disposition de la fig. 36.

Nous avons dit que le Dr Mund avait, dans ces dernières

[1] Lorsque le médecin, au lieu d'avoir à électriser un grand nombre de malades, doit soumettre à l'électrisation un seul malade placé sur un tabouret rapproché de la machine, il peut, dans tous les cas, mettre le malade en communication avec un pôle de la machine et relier l'excitateur à l'autre pôle.

res années, imaginé un appareil (fig. 37), qui lui sert à doser l'énergie électrique de la décharge.

La commotion est le premier procédé qui ait été employé dans les applications thérapeutiques. C'est au moyen de la commotion que Jallabert, à Genève, guérit un hémiplégique. De Haën, à Vienne, n'employait pas d'autre méthode. Le professeur Sauvages, à Montpellier, commença à traiter ses malades par ce procédé, mais l'excitation, les douleurs, l'insomnie, produites par de fortes commotions, l'engagèrent à s'en tenir presque exclusivement aux étincelles ordinaires. « M. de Sauvages est un des premiers, et peut-être le premier, dit Mauduyt, qui ait conseillé de se borner aux étincelles, parce qu'il avait remarqué qu'un malade qu'on électrisait par commotion était agité pendant les nuits qui suivaient l'opération, qu'elles lui occasionnaient des diarrhées, des angoisses et un malaise général.» La commotion ne doit être utilisée que dans des cas très limités. On ne l'emploie plus guère, aujourd'hui, que dans le cas d'anesthésie rebelle.

De légères commotions telles que celles qu'on peut obtenir avec les condensateurs de faible capacité, du Dr Mund, rendraient, comme nous l'avons dit déjà, de réels services dans un certain nombre de névralgies.

En faisant contracter fortement les muscles par ce procédé, on active la circulation, on peut ainsi accélérer la disparition d'œdèmes et d'exsudats inflammatoires.

Le médecin a, dans les divers procédés que nous venons d'examiner, une gamme de moyens thérapeutiques d'activité croissante, depuis le bain électrique jusqu'à la commotion. Tous ne conviennent pas indifféremment à tous les malades, et il est sage de passer avec précaution des procédés doux tels que le bain électrique, le souffle, aux procédés plus actifs: les aigrettes, l'étincelle et la commotion. Les malades réagissent de façon différente à l'action de l'électricité, et le médecin prudent ne devra jamais perdre de vue ce conseil de Mauduyt:

« Le degré de force électrique ne doit jamais excéder celui que le malade peut supporter sans peine, l'expérience ayant montré que, quand il lui est fort désagréable, il s'en trouve rarement bien[1]. »

[1] Pour tout ce qui regarde les diverses méthodes d'électrisation, on lira avec profit l'article *Franklinisation*, que le Dr R. Vigouroux a publié dans le *Dictionnaire d'Électricité de Dumont*.

CHAPITRE VII.

NOTIONS SUR LES EFFETS PHYSIOLOGIQUES ET LES APPLICATIONS THÉRAPEUTIQUES DE L'ÉLECTRICITÉ STATIQUE.

---

§ I. — Effets physiologiques.

80. — La plupart des faits que nous allons rapporter sont encore soumis à la discussion. Les documents sur ce sujet sont si peu nombreux qu'il n'en peut guère être autrement.

Les machines électriques qui étaient employées au XVIII[e] siècle fournissaient de l'électricité d'une façon très irrégulière, et il était bien difficile aux observateurs de préciser les conditions dans lesquelles ils opéraient.

L'électricité statique, complètement abandonnée au commencement de ce siècle, n'est utilisée de nouveau que depuis une quinzaine d'années.

Nous avons aujourd'hui à notre disposition des instruments plus parfaits, des appareils de mesure, un langage électrique conventionnel depuis l'adoption des unités par le congrès des électriciens. Il conviendrait de reprendre les faits signalés peut-être trop hâtivement et avec trop de complaisance et de les soumettre à une analyse plus rigoureuse.

Les effets physiologiques produits par l'électricité statique se divisent en effets généraux et effets locaux.

EFFETS GÉNÉRAUX.

I. Centres nerveux. — Rohsdenstweuski a soumis directement le cerveau de mammifères à l'action de puissantes étincelles électriques. Le cerveau étant mis à nu, on tirait des étincelles à travers la dure-mère. Il se manifes-

tait aussitôt un état épileptique avec élévation de la température. Les animaux succombaient quelques heures après.

De fortes étincelles tirées du crâne suffisaient pour amener la mort. Quelques animaux qui résistèrent à des étincelles un peu moins puissantes avaient des tremblements dans les extrémités, une démarche chancelante, de la stupeur. En faisant jaillir les étincelles à travers la partie inférieure de la moelle, Rohsdenstweuski a aussi observé de la parésie et des troubles de la sensibilité dans les membres inférieurs. A l'autopsie des animaux qui avaient résisté quelque temps à ces expériences, on reconnut l'existence, aux points qui avaient été particulièrement frappés par l'étincelle, de larges épanchements hémorrhagiques, des adhérences entre la dure-mère et le périoste de la colonne vertébrale, ainsi qu'un certain état de dégénérescence des cellules nerveuses[1].

II. Circulation. — Les électriciens du XVIIIe siècle, Jallabert, Sauvages, ont observé que l'électrisation augmente la vitesse du sang et accélère le pouls. Le nombre des pulsations augmenterait toujours, d'après ces auteurs, d'environ 1/6 :

Le professeur Charcot a signalé le fait suivant, qui montre l'augmentation de la tension sanguine sous l'influence de l'électrisation. Un individu avait été saigné. L'écoulement sanguin étant arrêté, on mit le malade en communication avec la machine et le sang recommença à couler.

Eulenburg a étudié dans ces derniers temps l'action de la douche électrique sur la circulation. Dans quelques cas il a observé une augmentation de 10 à 20 pulsations par minute; le plus souvent, il n'a vu se produire aucune modification, enfin il lui est arrivé d'observer une diminution du nombre des pulsations de 4 à 12 par minute et dans quelbues cas exceptionnels de 16 à 20[2].

[1] *Neurol. Centralblatt*, 1889, n° 2.

[2] Eulenburg; *De l'électrisation générale et localisée avec le courant à haute tension*.

Stepanow a signalé que sous l'influence du bain électro-statique la partie ascendante du tracé sphygmographique s'élève davantage, est plus ferme, que le sommet est plus aigu et le dicrotisme plus accusé[1].

Ces observations ont été confirmées par le Dr Damian[2], qui a bien voulu nous autoriser à reproduire les tracés si instructifs de sa remarquable thèse (fig. 40 et 41).



Fig. 40. — Tracé sphygmographique avant l'électrisation.

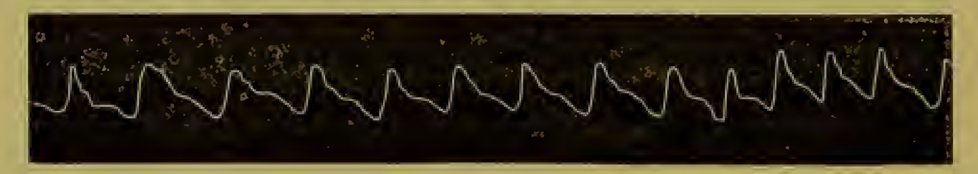


Fig. 41. — Tracé sphygmographique après l'électrisation.

III. Température. — Jallabert a signalé le premier que l'électrisation élève la température. « Un thermomètre placé sous mon aisselle montait, dit-il, de 33 à 36° quand j'étais fortement électrisé ».

Le Dr R. Vigouroux a également observé sur ses malades de la Salpêtriére une élévation de température de 3 dixièmes de degré sous l'influence du bain électrique.

Le Dr Damian, s'appuyant sur des expériences récentes, affirme que le bain électro-positif seul élève sensiblement la température. Le bain électro-négatif ne produirait aucune variation et aux étincelles négatives correspondrait un abaissement de température.

IV. Sécrétions. — Pour les anciens auteurs, l'électri-

[1] Stepanow; *De l'action physiologique et thérapeutique de l'électricité statique sur le corps humain*.

[2] Dr Damian; *Étude sur l'action physiologique de l'électricité statique*, Baillière, 1890.

sation active toutes les sécrétions ; sous son influence, la salive, la sueur, les larmes seraient augmentées.

L'augmentation de la transpiration cutanée sous l'influence du bain électro-statique est incontestable. Dans la majorité des cas, dit Stepanow, la transpiration cutanée diminue aux points électrisés tandis que dans les parties non électrisées il y a hypersécrétion Chez les sujets irritables on voit apparaître des gouttes de sueur au front, au cou, sur la paume des mains et dans le creux axillaire pendant qu'on électrise le dos.

Stepanow a observé également une augmentation de l'urine des 24 heures. Pour le Dr Damian il n'y aurait accroissement du volume de l'urine qu'avec le bain négatif. Le même auteur signale des variations dans les proportions des éléments constituants de l'urine. C'est ainsi que le bain électrostatique, et surtout le bain positif, augmente la proportion d'urée.

Le Dr d'Arsonval dans des communications récentes a signalé que sous l'influence du bain électrostatique les combustions respiratoires sont augmentées chez l'homme et chez les animaux.

Cette accélération dans les combustions doit être en partie du moins attribuée à l'ozone qui se produit en grande abondance, quand la machine est en activité et qui se fixe plus facilement que l'oxygène sur les globules sanguins.

V. Sensibilité générale. — Quelques neurasthéniques soumis au bain électrostatique éprouvent de l'excitation, de l'insomnie, des douleurs de tête, un sentiment d'angoisse. Ces divers phénomènes peuvent aussi se produire comme effets consécutifs de la franklinisation (Eulenburg).

On peut les observer sur certains malades alors qu'ils sont sur le tabouret, et la souffrance qu'ils éprouvent est tellement vive qu'ils demandent impérieusement qu'on arrête la machine (Stein).

Le plus souvent, le bain électrostatique provoque un

sentiment de calme et de bien-être. Cet apaisement général se traduit quelquefois par un besoin de dormir irrésistible.

D'après Eulenburg le bain positif et le bain négatif produisent les mêmes résultats. C'est aussi l'opinion du Dr R. Vigouroux. D'après Larat et Stein, le bain positif serait calmant et le bain négatif excitant.

VI. Fonctions digestives. — Sous l'influence du bain électrique les fonctions digestives s'exécutent mieux et l'appétit est considérablement augmenté (Charcot).

On voit, en résumé, que c'est le bain électrostatique qui produit les effets physiologiques généraux les plus intéressants. Il élève la température, active la circulation, augmente les sécrétions et régularise les fonctions de nutrition. Il paraît agir en première ligne, dit Boudet, sur les nerfs cutanés et en particulier sur les vaso-moteurs. Chez les malades à la peau sèche insensible, la sensibilité reparaît rapidement et la circulation se rétablit dans les couches de la peau les plus voisines de l'épiderme. Le bain électrique produit des actions réflexes remarquables. Chez les anémiques les symptômes de dépression et de haute excitabilité s'affaiblissent aussitôt que les fonctions de la peau ont commencé à se régulariser. Un grand nombre de femmes et de jeunes filles très délicates sont plus sûrement rétablies par le bain électrique que par les préparations ferrugineuses ou toniques.

EFFETS LOCAUX.

I. Effets particuliers de la douche électrique. — Au moyen de la cloche de Benedickt ou du disque à pointes de Chardin on peut étendre le souffle à toute la tête ou à une région étendue du visage. Les sensations de vent électrique, de toile d'araignée, sont très nettes. Une malade hystérique d'Eulenburg disait qu'il lui semblait recevoir sur la tête une bonne pluie chaude. Quelques personnes

sensibles éprouvent des secousses dans les yeux sans contractions musculaires.

Les organes de la vue, de l'ouïe, de l'odorat sont peu impressionnés. Plusieurs personnes prétendent que leur champ visuel est mieux éclairé. Dans une observation du doyen Dumas, de Montpellier[1], la malade qu'il traitait pour un affaiblissement de la vue y voyait mieux pendant l'électrisation. Mais l'amélioration ne persistait pas.

Beaucoup de personnes placées sous la cloche accusent une saveur acide ou métallique qui est la même que l'électricité soit positive ou négative et qu'Eulenburg attribue à l'ozone.

Quelques malades et surtout les neurasthéniques éprouvent une sensation de vertige lorsqu'ils s'asseoient pour la première fois sous la cloche.

Il n'est pas rare de voir se produire de la rougeur, de la chaleur sur les points du visage sur lesquels on dirige la cloche ou les pointes. On l'observe surtout chez les anémiques, les nerveux dans des cas de migraine.

Eulenburg a constamment observé qu'après la douche ou le souffle la sensibilité de la peau du visage était considérablement diminuée. Cela est particulièrement net pour la peau des régions sus-orbitaire et temporale. La pointe d'une aiguille est sentie comme un corps mousse. La température d'un corps chaud est appréciée beaucoup moins bien que par les autres régions de la peau. Ces actions consécutives disparaissent du reste rapidement.

II. Étincelles et sensibilité. — Eulenburg[2] a particulièrement étudié les actions locales produites par les étincelles au point de vue de la sensibilité et du mouvement.

Une étincelle unique, longue produit aux points frappés une zone d'hyperesthésie, surtout au toucher, avec pâleur de la peau.

[1] Dumas; *Consultations et observations de médecine.*

[2] Eulenburg; Ueber allgemeine und lokale electrisation, mittelstrome, hochgespannterstrome. Berlin klinische Wochenschrift, 1887.

Ce phénomène est transitoire.

Produit-on une deuxième étincelle, on observe le même phénomène.

Quelquefois l'hyperesthésie est remplacée par de l'hypesthésie.

Dans ce cas, il n'y a plus pâleur mais rougeur de la peau.

Des étincelles courtes se succédant rapidement amènent toujours un abaissement de la sensibilité cutanée.

A cette anesthésie du début succède de l'hyperesthésie avec hyperalgie surtout pour la chaleur.

Ces modifications dans la sensibilité coïncident avec l'apparition de papules. La cocaïne n'empêche pas l'hyperalgie.

En dirigeant le souffle ou l'aigrette sur un tronc nerveux on diminue la sensibilité dans les régions qui sont sous sa dépendance.

Des étincelles courtes sur les paupières fermées provoquent des sensations lumineuses. Dirigées sur la membrane du tympan, les étincelles courtes donnent naissance à des bruits peu intenses. Ils s'exagèrent et ressemblent à des coups de grosse caisse si elles sont plus longues.

Des aigrettes, surtout si la machine est armée de ses condensateurs, dirigées sur la langue provoquent des sensations sapides. Le plus souvent on perçoit une saveur acide. A la pointe de la langue la saveur est plus douce. Ces phénomènes se produisent mieux avec l'électricité positive qu'avec l'électricité négative. On obtient les mêmes sensations en appliquant les excitateurs sur les joues. En même temps les papilles de la langue se hérissent. Aux points excités se produit une sécrétion abondante d'un liquide clair comme de l'eau.

III. Étincelles et manifestations cutanées. — Sous l'influence d'étincelles dirigées pendant longtemps sur une région limitée, on voit la peau pâlir. Elle rougit ensuite et

bientôt apparaissent de petites élévations qui se remplissent d'un liquide séreux. Poursuit-on plus longtemps l'expérience, comme Eulenburg a pu le faire pendant plus d'une heure avec des hystériques, la peau est mortifiée, il se produit une eschare qui s'élimine en laissant à sa place une région colorée en brun.

Ainsi avec les étincelles on peut obtenir les trois degrés de brûlure : 1° rougeur ; 2° vésication ; 3° mortification. Ces actions calorifiques de l'étincelle seraient, d'après Poggendorff, plus intenses avec l'électricité négative qu'avec l'électricité positive.

Ce sont ces phénomènes congestifs qui faisaient admettre aux anciens électriciens que l'électricité favorise la suppuration. Sauvages, ayant tiré quelques étincelles d'un bouton rouge qu'un étudiant avait à la main, le vit grossir sensiblement, manifestant ainsi, dit-il, une tendance évidente à la suppuration.

IV. Étincelles et mouvement. — On excite les nerfs moteurs en dirigeant les étincelles sur les points où ils sont plus accessibles, qu'on désigne sous le nom de points moteurs.

L'excitation des muscles animés par ces nerfs est dite alors *indirecte*.

L'excitation est *directe* quand l'étincelle est dirigée sur les muscles eux-mêmes.

Des étincelles dirigées sur un muscle ou sur les points moteurs provoquent des contractions cloniques, si elles se succèdent à intervalles suffisants.

Très rapprochées, les étincelles mettent les muscles en tétanos. Dans le cas de nerfs mixtes ces étincelles provoquent simultanément des sensations douloureuses, de picotement, de brûlure suivant leur longueur.

Tous ces phénomènes sont identiques à ceux qu'on obtient avec la bobine d'induction. On peut, avec l'électricité des machines tout aussi bien qu'avec le courant des bobines,

obtenir la contraction isolée d'un muscle ou d'un groupe musculaire. Eulenburg, dans des cas de paralysie saturnine à fait contracter isolément la plupart des extenseurs de l'avant-bras avec l'électricité statique tandis qu'en donnant au courant faradique l'intensité nécessaire pour produire les contractions des extenseurs, l'excitation se propageait jusqu'aux fléchisseurs. L'électricité statique constitue également pour Schwanda le moyen le plus sûr pour atteindre un muscle sans que l'excitation se propage à des muscles éloignés, ce qui peut gêner dans les recherches d'électro-diagnostic.

L'électricité statique présente cet avantage que les contractions sont obtenues à travers les vêtements.

D'après Jolly dans les cas de dégénérescence les muscles continuent à répondre à l'électricité statique alors que l'électricité faradique est sans action. L'excitabilité à l'électricité des machines disparaîtrait d'après Jolly après l'excitabilité au courant faradique mais avant l'excitabilité au courant galvanique.

§ II. — Effets thérapeutiques.

Ce livre n'est pas un ouvrage d'électrothérapeutique. Nous ne pouvons que signaler ici très rapidement les services que dans bien des cas on peut demander à l'électricité statique.

L'électricité des machines a été employée avec succès à la fin du siècle dernier par l'abbé Nollet, Mauduyt, Sauvages Sigaud de la Fond. Elle fut presque complètement abandonnée aprés la découverte de la pile voltaïque. L'électricité statique est entrée de nouveau dans la thérapeutique il y a une quinzaine d'années à l'instigation du professeur Charcot et de son éminent collaborateur le D^r^ R Vigouroux. Charcot frappé des actions singulières que les plaques métalliques du Dr Burq produisaient sur les hystériques, fut conduit à essayer sur ses malades les divers agents physiques et en particulier l'électricité et les aimants. Le

Dr R. Vigouroux aussi habile médecin qu'électricien distingué a organisé à la Salpêtrière une installation modèle qu'ont du imiter tous ceux qui en France ou à l'étranger s'occupent d'électricité médicale.

Les travaux récents relatifs aux applications thérapeutiques de l'électricité statique sont encore assez rares. On lit toujours avec profit les mémoires que Mauduyt fit paraître à la fin du siècle dernier et en particulier son : *Mémoire sur les différentes manières d'appliquer l'électricité,* Paris 1784, livre honnête et de bonne foi où l'auteur sans exalter ses succès ne cache pas ses mécomptes.

L'électricité statique produit, nous l'avons dit, sur l'organisme une action générale et des actions locales.

L'action générale s'obtient surtout avec le bain électro-statique.

L'électricité fournie par la machine n'est pas en équilibre sur le malade. Il y a au contraire courant électrique de la machine au malade et du malade aux parois de la chambre et au sol. Or l'énergie électrique en mouvement est caractérisée par la facilité avec laquelle elle se transforme en d'autres modes de l'énergie.

Ces transformations ne sont pas aussi faciles à suivre que lorsqu'on emploie l'électricité des piles. Elles sont plus lentes à se produire et peut-être est-ce à cette lenteur de transformation qu'il faut attribuer les effets thérapeutiques qu'on obtient avec de l'électricité statique et qu'on n'obtient pas avec les autres formes d'électricité.

Les travaux de M. Berthelot ont vulgarisé cette idée que pour beaucoup de réactions de chimie organique, le temps constitue un facteur des plus importants. Nous savons aussi que beaucoup de réactions se produisent si une énergie étrangère, même faible, intervient, pour mettre en jeu les affinités moléculaires et que ces réactions une fois commencées se poursuivent, qu'elles soient ou qu'elles ne soient pas limitées. Ces actions lentes de l'énergie électrique ont été mises en évidence par M. Berthelot à propos

des combinaisons de l'azote avec certaines matières organiques, benzine, gaz des marais, cellulose, etc.

L'électricité qui produit des combinaisons, produit également des décompositions. Elle provoque des phénomènes de transport analogues à ceux que nous étudierons à propos de l'électricité galvanique. L'électricité statique peut donc produire tous les effets que les auteurs allemands désignent sous le nom de catalytiques et qui leur servent à expliquer l'action générale des courants galvanique et faradique.

Les autres modes d'électrisation, souffle, aigrette, étincelles commotions provoquent plus facilement des actions locales qui se manifestent par des sensations de chaleur, de picotement, de brûlure et par des contractions musculaires.

Nul doute cependant que l'action ne soit pas localisée aux points frappés par l'étincelle. L'électricité agit alors comme un excitant qui provoque par voie réflexe des modifications dans des organes éloignés et c'est ainsi par exemple qu'on peut expliquer comment Sauvages au siècle dernier guérissait la sciatique en tirant des étincelles de la nuque du malade.

Les étincelles fréquemment répétées ,surtout si elles sont courtes comme dans la friction électrique,amènent la rougeur des régions qu'elles impressionnent. Elles peuvent donc, en congestionnant des régions superficielles décongestionner des régions profondes et agir comme révulsifs et dérivatifs.

Dans d'autres cas, elles font disparaître des tumeurs des engorgements des œdèmes en provoquant la contraction des fibres lisses des vaisseaux et en précipitant le cours des liquides.

Sans insister davantage sur ces généralités indiquons brièvement un certain nombre de cas pathologiques dans lesquels l'électricité statique est employée avec avantage.

I. Maladies cérébrales. — Dans les *maladies du cer-*

veau et en particulier dans l'*hémorrhagie cérébrale* on a utilisé la douche électrique.

Le traitement doit commencer 48 heures après l'attaque. Aucun accident n'est à craindre (Rosenthal et Bernhardt).

La franklinisation peut rendre les plus grands services dans les *psychoses*.

Benedikt a traité par la douche électrique un cas de délire des grandeurs avec excitation maniaque et myosis. Les résultats furent des plus remarquables.

Le sommeil et la tranquillité générale furent aussitôt obtenus.

Plus remarquable encore fut dans ce cas l'action de l'électricité sur les phénomènes digestifs. Le malade souffrait d'un ulcère rond, et jusqu'à la première séance il ne pouvait supporter aucun aliment solide. L'électricité rendit à l'estomac sa tolérance pour les aliments.

Les séances, surtout au début, doivent être courtes et ne pas durer plus de trois minutes.

II. Maladies des yeux et des oreilles. — Les anciens électriciens traitaient par les étincelles et par la commotion un certain nombre d'*affections oculaires*. Ces procédés sont complètement abandonnés, et on a toujours recours dans les cliniques ophtalmologiques au courant de la pile.

Pour le traitement des *maladies de l'oreille* Benedikt emploie un excitateur composé d'un otoscope en ébonite rattaché à un bandeau frontal. Dans le conduit de l'otoscope est maintenue une pointe métallique qu'on peut approcher ou éloigner du tympan. On la relie à un des conducteurs de la machine à influence. L'autre conducteur est relié au sol et les boules des deux conducteurs de la machine sont très rapprochées l'une de l'autre; on obtient de cette façon des aigrettes courtes entre l'excitateur et le tympan. Par cette méthode, Benedikt guérit la dureté d'oreille, les bourdonnements, la surdité. Il cite aussi un cas de catarrhe de l'oreille moyenne qu'il a guéri de cette façon en trois

jours. La durée des séances était de 2 à 5 minutes au début puis de 5, 10 et 20 minutes.

III. Névroses. — C'est dans les *névroses générales* et les *affections fonctionnelles cérébrospinales* que la franklinisation a rendu le plus de services.

IV. Hystérie. — Dans l'*hystérie*, le bain électrique produit d'après Charcot les phénomènes suivants.

S'agit-il d'une anesthésie totale, l'anesthésie se prononce au bout de quelques minutes du côté où elle est habituellement prédominante. La sensibilité reparaît au contraire du côté où l'anesthésie est moins marquée, puis après quelques instants l'anesthésie change de côté, il y a transfert. Finalement l'anesthésie après vingt, vingt-cinq, trente minutes disparaît complètement. Les sensibilités générale et spéciale reparaissent simultanément.

Dans le cas d'hémianesthésie, les choses se passent de la même façon. Seulement la première phase des phénomènes précédents fait défaut. Une hystérique qui a recouvré la sensibilité par ce moyen reste sensible pendant plusieurs heures et même plusieurs jours. En renouvelant le bain électrique tous les jours on maintient la sensibilité. Les hystériques débarrassées de leur anesthésie sont guéries momentanément. Elles cessent d'être hypnotisables et souvent l'excitation des points hystérogènes n'amène plus d'attaque[1].

L'électricité statique relève les forces d'une façon remarquable. La fréquence des attaques augmente l'appétit, active les fonctions digestives et rend les malades plus gaies[2].

On emploie avec succès en cas d'hystérie non seulement le bain électrique, mais la friction généralisée à l'ensemble du système musculaire. Dans le cas d'anesthésie rebelle, on

[1] R. Vigouroux ; *Revue de Médecine*, 1881, n° 2.

[2] Blanc Fontenille ; *Effets de l'électricité statique sur quelques phénomènes hystériques* (*Progrès médical*, 1887).

dirige contre les points anesthésiés de fortes étincelles, la machine étant munie de ses condensateurs.

VI. Épilepsie. — Dans l'*épilepsie*, Stein et Benedikt ont employé avec le plus grand succès la douche électrique.

Stein cite le cas d'une jeune dame que la douche avait débarrassée de ses attaques. Elle reçut par mégarde une étincelle électrique, les crises reparurent et furent très difficilement arrêtées.

V. Chorée. — Dans la *chorée*, Stein soumet les malades au bain électrostatique pendant vingt minutes et de temps en temps il produit le souffle le long de la colonne vertébrale.

VII. Paralysie agitante. — Dans la *paralysie agitante*, on arrête les tremblements dans les parties du corps sur lesquelles on dirige le souffle ou l'étincelle. On n'obtient pas une guérison complète, mais la maladie, dans plusieurs cas, a été heureusement influencée (Charcot-Ballet).

VIII. Paralysies. — Dans les *paralysies* de toute nature, on suit toujours la méthode indiquée par Mauduyt, bain électrique, étincelles, ou souffle sur les muscles paralysés.

Les paralysies suites d'hémorrhagie cérébrale, la paralysie faciale, la paralysie saturnine, se traitent de la même façon. Les premiers électriciens ont d'abord employé la commotion, et c'est Sauvages, de Montpellier, qui montra que dans bien des cas ce procédé violent aggravait l'état du malade au lieu de l'améliorer. On électrise, dit Mauduyt, à peu près cinq minutes par jour et on a d'autant plus de chances de réussir que la paralysie est plus récente. Dans la majorité des cas, le malade est soulagé.

IX. Névralgies. — Dans les *névralgies* de toute nature, névralgie du trijumeau, névralgie intercostale, sciatique, gastralgie, migraine, le souffle dirigé contre les points douloureux rend les plus grands services. Benedikt cite un cas dans lequel une névralgie du trijumeau qui avait résisté

à de nombreuses séances de galvanisme, qui n'avait même pas cédé à la résection du nerf, disparut après quelques séances de franklinisation. Dans un cas de vieille sciatique, Stein a dirigé le long du trajet du nerf de fortes étincelles, la machine étant armée de ses condensateurs. La guérison se produisit après quatre semaines de traitement Déjà Sauvages traitait au siècle dernier la sciatique par les étincelles tirées le long du nerf et contre la nuque.

X. Rhumatismes. — Les *rhumatismes musculaires ou articulaires* sont avantageusement traités par l'électricité statique.

On emploie la friction et les étincelles.

XI. Goutte. — Dans la *goutte* on soulage les malades en dirigeant des étincelles contre les régions douloureuses. « J'avais, il y a deux mois, dit Sauvages, une douleur de goutte au pied gauche ; l'électrisation en deux fois me soulagea notablement pour un mois : je boitais de nouveau un mois après, autre électrisation qui me dissipa la douleur et chaque fois une sueur visqueuse sortait de la partie malade et durait jusqu'au lendemain. »

XII. Troubles de la menstruation. — Mauduyt, à l'exemple de Carvallo, traitait les divers *troubles de la menstruation* et en particulier la *suppression des règles* par le souffle dirigé vers les ovaires et les parties génitales. Arthuys emploie contre l'aménorrhée et la dysménorrhée la friction électrique et les étincelles dirigées sur la partie inférieure de la colonne vertébrale, sur les hanches, les ovaires, le bas-ventre et les membres inférieurs.

XIII. Engelures, stases. — Les *engelures*, les *stases* de toute nature, les *gonflements péri-articulaires de l'entorse*, disparaissent sous l'action des étincelles.

On voit que l'électricité des machines peut rendre dans un grand nombre de cas des services précieux.

Dans quelques cas et en particulier dans l'hystérie, c'est

le seul médicament qui rende des services véritablement utiles. On est surpris en présence de pareils résultats de lire des affirmations analogues à celles que l'on trouve dans l'ouvrage du professeur Dr Rosbach [1]. « Qu'est-il resté des brillants résultats que Mauduyt attribuait aux étincelles électriques, et des magnifiques espérances que promettaient le bain, le vent électrique, rien, rien, rien! »

Pour permettre du reste au lecteur d'apprécier ce qu'il peut espérer de l'électricité statique, nous reproduisons un tableau résumant la statistique de la clinique particulière du Dr Stein de 1883 à 1886 [2].

NOMS DES MALADIES	NOMBRE	SEXE		AGE						RÉSULTATS du traitement		
		Hommes	Femmes	7-15	15-25	25-35	35-45	45-50	Au-dessus de 60	Guéris	Améliorés	non guéris
Hystérie et hystéro épilepsie. . .	11	—	11	—	5	4	1	1	—	6	2	3
Épilepsie.	8	3	5	2	3	2	—	1	—	—	—	8
Chorée.	9	5	4	6	3	-	—	—	—	6	—	3
Insomnie.	9	8	1	—	1	2	2	3	1	6	—	3
Pesanteur de tête.	5	4	1	—	—	2	1	1	1	3	—	2
Tremblement.	6	4	2	—	—	1	2	—	3	3	—	3
Sciatique.	4	4	—	—	—	1	2	—	1	2	—	2
Névralgies diverses. . . .	14	9	5	—	3	4	3	2	2	8	2	4
	66	37	29	8	15	16	11	8	8	34	4	28

[1] Rosbach; *Lehrbuch der physikalischen Heilmethoden.*
[2] Stein; *Lehrbuch der Allgemeinen Electrisation.*

NOTIONS DE MAGNÉTISME

81. — Aimants artificiels, aimants naturels. — On appelle aimants artificiels des morceaux d'acier trempé, auxquels on a communiqué par divers procédés la propriété d'attirer la limaille de fer (fig. 42).

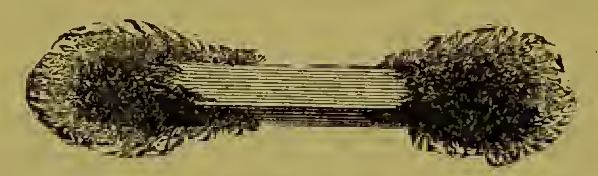


Fig. 42. — Attraction de la limaille de fer par un aimant rectiligne.

On les distingue des aimants naturels qui sont des morceaux d'oxyde de fer magnétique qu'on trouve dans le sol et qui ont la même propriété..

On donne aux aimants artificiels diverses formes. Ce sont des barreaux rectilignes ou en fer à cheval, des aiguilles losangiques, des disques, des anneaux, etc. (fig. 43)



Fig. 43. — Aimant en fer à cheval, modèle médical de Chardin, à 3 lames. Prix: 50 f.

82. — Pôles d'un aimant. — Une aiguille aimantée mobile autour d'un pivot vertical s'oriente de façon qu'une de ses extrémités se dirige vers le Nord. L'autre se dirige vers le Sud.

On appelle pôle boréal l'extrémité de l'aiguille dirigée vers le Sud, et pôle austral l'extrémité tournée vers le Nord.

Les pôles d'une aiguille aimantée ont, en réalité, une définition plus rigoureuse. Celle que nous donnons ici nous paraît suffisante pour les besoins de la pratique.

83. — Attractions et répulsions magnétiques. — Si on présente au pôle austral d'une aiguille mobile le pôle boréal d'une aiguille fixe, l'aiguille mobile est attirée. Elle est, au contraire, repoussée, si on présente à son pôle austral le pôle de même nom d'une aiguille fixe.

On conclut de cette expérience que : *Les pôles de même nom se repoussent et que les pôles de nom contraire s'attirent.*

84. — Détermination du pôle d'un aimant. — Il est toujours facile de reconnaître les pôles d'un barreau aimanté.

On approche une de ses extrémités du pôle austral d'une aiguille mobile, par exemple. S'il y a répulsion, le pôle du barreau est un pôle austral. C'est un pôle boréal s'il y a attraction.

85. — Hypothèse de l'aimant terrestre. — Une aiguille mobile sur un pivot vertical étant placée au-dessus d'un barreau fixe, l'aiguille tourne jusqu'à ce que les pôles de nom contraire soient en regard, le pôle austral de l'aiguille mobile correspondant au pôle boréal du barreau, et réciproquement.

L'aiguille mobile dans un plan horizontal s'oriente donc comme s'il existait au-dessous d'elle un aimant puissant dirigé suivant un diamètre de la terre. On a donné à cet aimant hypothétique, dont la considération intervient dans l'explication des phénomènes magnétiques, le nom d'aimant terrestre.

L'aimant terrestre a deux pôles, l'un dans l'hémisphère boréal, l'autre dans l'hémisphère austral. On leur a donné les noms de pôle boréal et de pôle austral de l'aimant terrestre.

Comme dans l'expérience précédente, l'aiguille mobile dans un plan horizontal tourne jusqu'à ce qu'elle soit parallèle à l'aimant terrestre, les pôles de nom contraire étant en regard.

On voit donc qu'au pôle boréal de l'aimant terrestre correspond le pôle austral de l'aimant mobile, et réciproquement. C'est donc avec raison qu'on appelle pôle austral le pôle de l'aiguille mobile qui se dirige vers le Nord, et pôle boréal le pôle qui se dirige vers le Sud.

86. — Méridien magnétique. — On appelle méridien magnétique le plan vertical mené par la ligne des pôles, d'une aiguille aimantée mobile dans un plan horizontal, lorsqu'elle a pris sa position d'équilibre.

87. — Champ magnétique. — Le champ magnétique d'un aimant est la portion de l'espace dans laquelle se manifeste son action.

Un barreau aimanté étant recouvert d'une feuille de papier, si on laisse tomber d'une certaine hauteur de la limaille de fer et qu'on donne quelques secousses, on voit la limaille s'orienter et se distribuer suivant des lignes régulières qu'on appelle lignes de force, chaque brin de limaille pouvant être considéré comme ayant pris la direction de la résultante des forces de l'aimant au point qu'il occupe.

La fig. 44 représente la section du champ par le plan, de la feuille de papier. Si on imagine que la feuille prenne toutes les orientations possibles par rapport à l'aimant et que dans chacune de ces positions on observe de la même façon les figures formées par la limaille de fer, on aura une représentation complète du champ dans l'espace.

Un champ magnétique peut être également produit par deux ou plusieurs aimants ou par le pôle d'un aimant. Les lignes de force, comme l'indiquent les figures 45, 46, 47, sont différentes suivant la nature du champ.

88. — Intensité du champ. — Supposons maintenant qu'un brin de limaille soit remplacé par une aiguille aimantée très courte mobile dans toutes les directions, elle prendra

en un point du champ la direction de la résultante des forces qui agissent en ce point, et, si nous l'écartons de sa position d'équilibre, elle oscillera d'autant plus vite que la force qui tend à la ramener à sa position d'équilibre, c'est-à-dire la résultante des forces dues à l'aimant, est plus grande.

On appelle intensité du champ au point considéré l'intensité de la résultante des actions de l'aimant ou du pôle sur l'unité de masse magnétique en ce point (90).

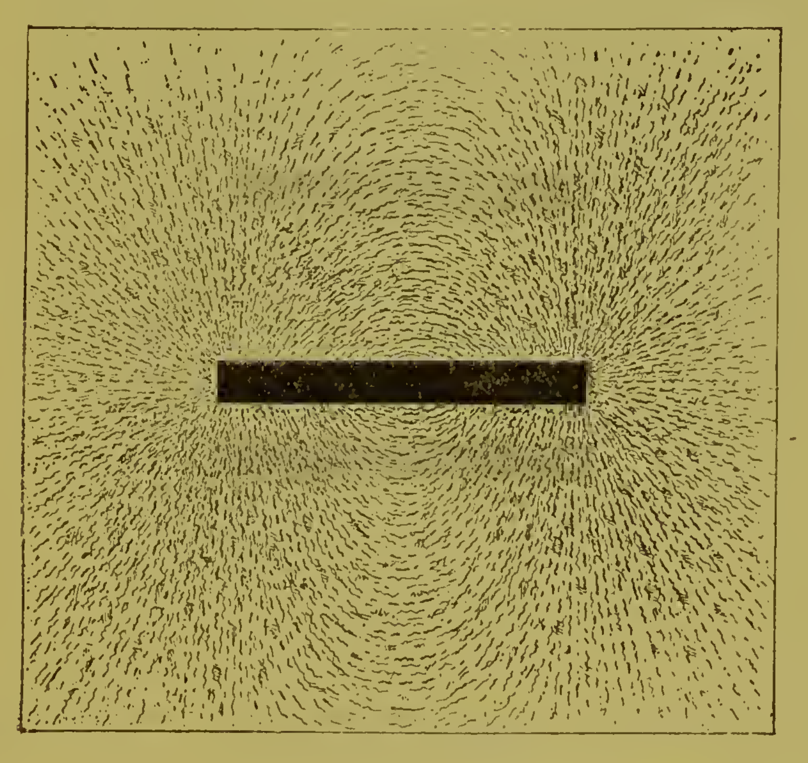


Fig. 44. — Lignes de force. Champ d'un aimant.

L'intensité, d'après ce que nous venons de dire, dépend du nombre des oscillations effectuées par l'aiguille mobile pendant une seconde.

L'intensité du champ est constante si, quelle que soit la position de l'aiguille dans le champ, le nombre de ses oscillations par seconde est constant.

Dans tout autre cas, le champ est variable.

Un champ constant est caractérisé par des lignes de force toutes parallèles et équidistantes.

Nous verrons l'importance de ces considérations dans l'étude des phénomènes d'induction.

89. — Hypothèse de Coulomb. — Coulomb a transporté dans l'étude du magnétisme l'hypothèse des fluides, si commode pour l'explication des phénomènes électriques.

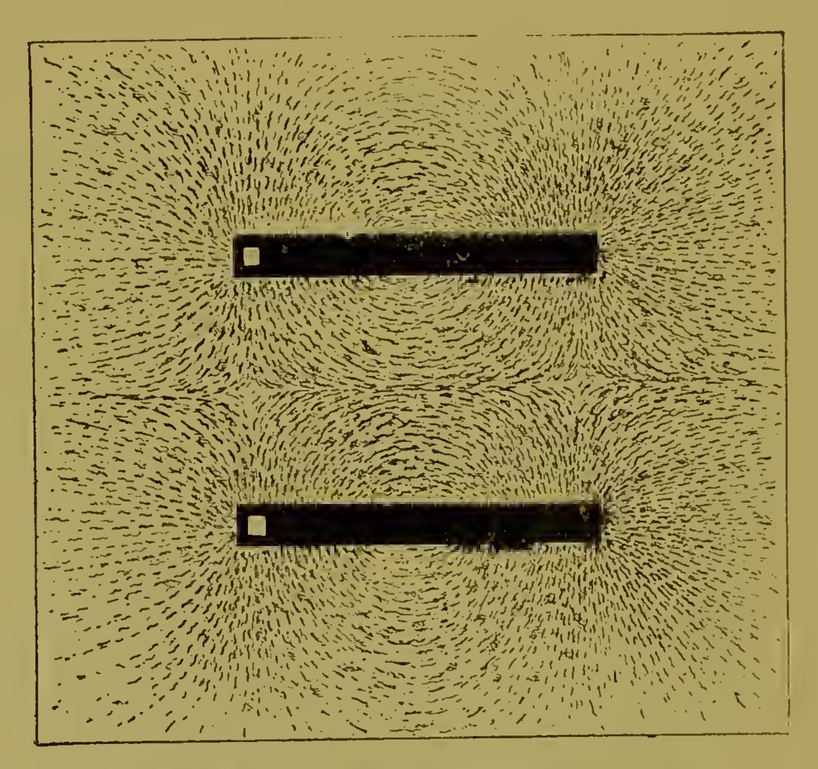


Fig. 45. — Lignes de force. Champ de deux aimants. Les pôles de même nom sont en regard.

Tout corps susceptible d'aimantation contient des quantités indéfinies de fluide neutre que l'aimantation sépare en fluide austral et fluide boréal. Les fluides ainsi séparés se distribuent à la surface de l'aimant de façon à ce qu'en chaque point il y ait équilibre magnétique.

90. — Influence magnétique. — Un barreau aimanté produit des phénomènes d'influence.

Si dans le voisinage du pôle d'un aimant on place un barreau d'acier ou de fer doux ce barreau s'aimante. A l'extrémité du barreau la plus rapprochée de l'aimant on trouve un pôle de nom contraire et à l'extrémité la plus éloignée un pôle de même nom. L'aimantation ainsi développée par influence se produit très vite dans le cas d'un barreau de fer doux ; elle est moins rapide si le barreau est en acier. C'est encore en faisant intervenir les fluides magnétiques que Coulomb explique ces phénomènes.

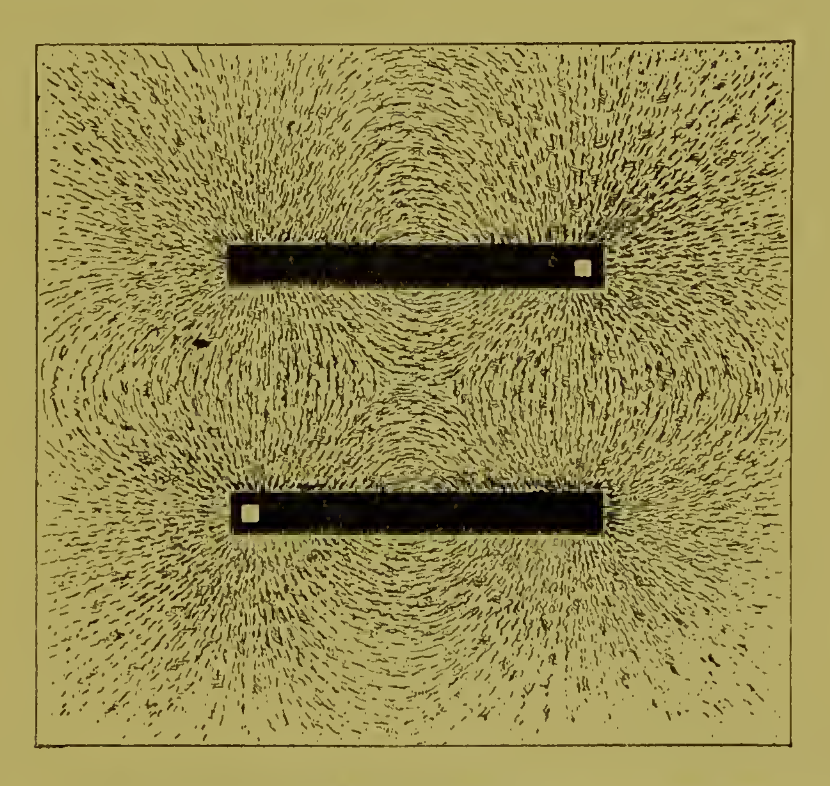


Fig. 46. — Lignes de force. Champ de deux aimants. Les pôles de nom contraire sont en regard.

Les particularités qui s'observent dans l'acier sont attribuées à l'existence d'une force coercitive qui s'oppose à la séparation des fluides sur l'acier, qui s'oppose également à leur réunion lorsqu'ils sont séparés. Cette force n'existe pas dans le fer doux ; de là la séparation facile des deux fluides.

Nous n'avons pas à discuter la valeur de cette explication, il nous suffit de rappeler le fait expérimental.

91. — Loi des attractions et des répulsions magnétiques. — Coulomb a étudié les attractions et les répulsions qu'exercent l'un sur l'autre les pôles de deux aimants, l'un fixe, l'autre mobile. En faisant varier soit les distances des pôles, soit les quantités de magnétisme en présence, il a vérifié que les attractions et les répulsions suivent les mêmes lois que les attractions et les répulsions électriques.

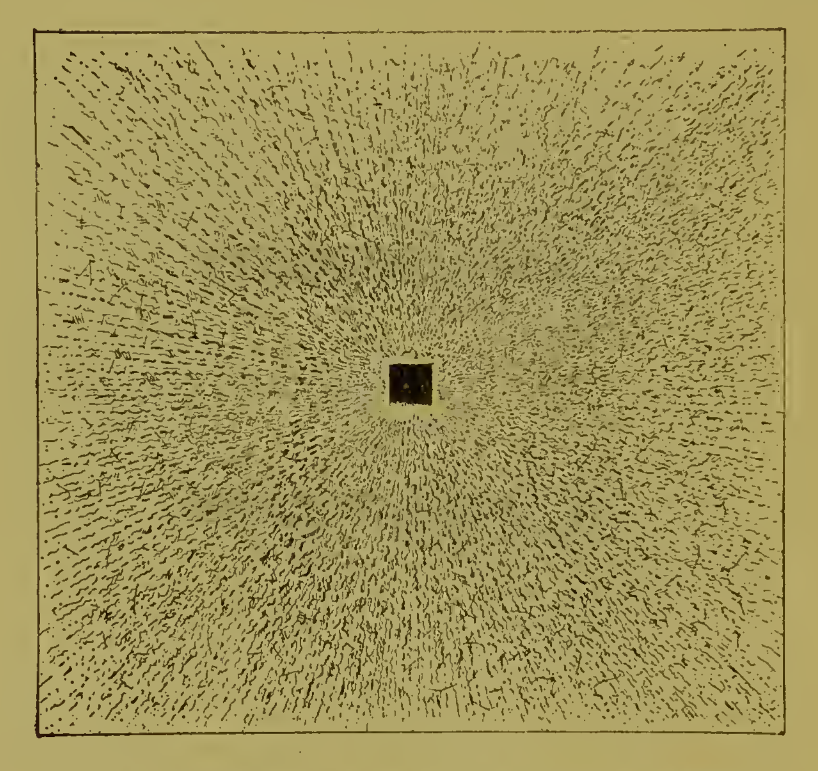


Fig. 47. — Lignes de force Champ d'un pôle d'aimant.

Les attractions et les répulsions magnétiques sont proportionnelles aux quantités de magnétisme contenues dans les pôles en présence et varient en raison inverse du carré de la distance qui les sépare.

Ce que l'on exprime généralement par la formule

$$f = \frac{qq'}{r^2}$$

f représentant la force attractive ou répulsive, q et q' les

quantités de magnétisme en présence, r la distance qui les sépare, $f = 1$ si $q = q' = 1$ et $r = 1$.

De là, cette définition de l'unité de magnétisme qu'on appelle encore l'unité de pôle

92. — Unité de magnétisme C. G. S. — *L'unité de magnétisme dans le système C. G S., c'est la quantité de magnétisme qui, agissant sur une masse égale placée à une distance égale à 1 centim., produit une force attractive ou répulsive égale à une dyne.*

93. — Applications médicales. — Les aimants font

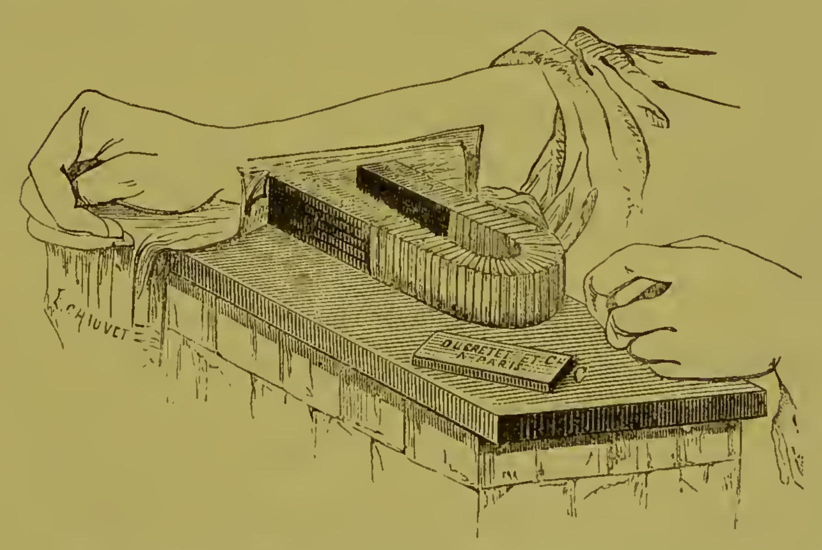


Fig. 48 — Aimant de Charcot, construit par Ducretet, disposé pour faire disparaître une contracture des muscles de l'avant-bras. Prix : 50 fr.

partie d'un certain nombre d'appareils médicaux que nous aurons à décrire.

On les emploie avec succès dans le traitement des maladies nerveuses.

Les gros aimants que l'on utilise dans ce but sont constitués par plusieurs barreaux aimantés séparément et réunis ensuite. On les appelle souvent aimants de Charcot (fig. 43).

On fait disparaître facilement par l'application (fig. 48)

d'un aimant l'anesthésie et la contracture des hystériques. Elles disparaissent aux points impressionnés et généralement les points du corps symétriques deviennent le siège des mêmes manifestations.

C'est là ce qu'on appelle le phénomène du transfert. Ces phénomènes curieux peuvent du reste être obtenus aussi facilement par l'application du bain électrique d'un courant ou de pièces métalliques.

Ainsi l'anesthésie qui était à droite par exemple est maintenant à gauche. En agissant avec l'aimant sur les points ainsi anesthésiés on fait revenir l'anesthésie à droite et ainsi de suite. Mais à chaque déplacement l'intensité de l'anesthésie diminue. On comprend donc qu'en la poursuivant à droite et à gauche on arrive à la faire disparaître.

Ces phénomènes de transfert accompagnés d'atténuation du symptôme auquel s'adresse l'aimant s'observent aussi dans certaines névralgies et particulièrement dans la migraine.

« Je me servis des aimants pour la première fois, dit Lewandowski, pour une jeune fille de 16 ans qui souffrait d'une très forte migraine. L'aimant était porté par un coussin et on le maintenait à une faible distance de la tête de la malade, les pôles étant, bien entendu, dirigés vers la partie du crâne douloureuse. Au bout d'une minute les douleurs avaient disparu du côté où elles se trouvaient. Elles s'étaient transportées de l'autre côté mais avec une intensité plus faible.

» J'approchai l'aimant des parties douloureuses, le transfert ramena les douleurs aux points où elles se trouvaient d'abord ; après deux autres transferts la douleur disparut complètement pour trois jours. Avant l'action de l'aimant rien ne pouvait donner à la malade un repos de quelques heures.

» Les accès de migraine ultérieurs furent traités de la

même façon. Ils s'atténuèrent successivement et finirent par disparaître [1] ».

Benedickt emploie les aimants pour le traitement de la céphalalgie, de la migraine, de l'anémie, de la grande chorée.

Tout le monde n'est pas, bien entendu impressionné par les aimants, et les personnes qui y sont sensibles réagissent de façons très différentes. Chez les unes, la réaction est à peine appréciable, chez d'autres l'aimant provoque des manifestations hypnotiques et cataleptiques.

Il n'est pas rare de voir des malades en catalepsie se mouvoir sous l'influence d'aimants qu'on déplace sous leurs lits.

Des expériences [2] faites en 1886 à la Salpêtrière ont montré que le transfert se produit d'un sujet à un autre alors même qu'ils sont placés à une certaine distance et séparés par un écran.

C'est ainsi qu'on a transporté d'une hystérique située dans une chambre à une autre qui se trouvait dans une chambre voisine des paralysies diverses, des contractures et un mutisme datant de trois à quatre ans. Dès qu'on cessa l'action de l'aimant, les choses rentrèrent dans l'ordre. La muette reprit son mutisme et l'autre sujet l'usage de la parole.

Le Dr Bellon [3], dans sa thèse, donne d'intéressants détails sur le traitement de l'anesthésie par les aimants.

Un malade du service de M. le professeur Grasset atteint d'hystérie avait le côté droit complètement anesthésié. Cette région fut soumise pendant quarante-huit heures à l'influence d'un gros aimant. L'anesthésie disparut presque entièrement. On constata en même temps une amélioration très marquée de l'état psychique du malade.

[1] Lewandowski ; *Électrodiagnostic und Electrothérapie*.

[2] Article *Aimant* du *Dictionnaire d'Électricité de Dumont*.

[3] Dr Bellon; *Considérations sur l'hystéro-traumatisme*. Montpellier, 1891.

Les attractions réciproques qui existent entre l'aimant et le fer sont quelquefois utilisées pour assurer un diagnostic.

Un individu déclare qu'il a avalé un objet en fer, une fourchette par exemple. On s'en assure en plaçant, à peu de distance du creux épigastrique, une aiguille mobile sur un pivot vertical. On la voit s'orienter de façon qu'un de ses pôles se dirige vers le corps étranger devenu un aimant sous l'influence de l'aiguille.

En pareil cas on a vu, sous l'influence d'aimants ou d'électro-aimants puissants, des voussures se produire sur la peau, l'objet métallique faisant hernie pour se porter vers l'aimant qui l'attire.

ÉLECTRICITÉ GALVANIQUE

CHAPITRE PREMIER.

GÉNÉRALITÉS. — ÉLÉMENT VOLTAÏQUE

94. — Définition et caractères de l'électricité galvanique. — Nous avons dit que nous appelons électricité galvanique l'électricité fournie par les piles.

L'éctricité statique que nous avons étudiée jusqu'ici est caractérisée par un potentiel élevé et par un faible débit. Le débit est, comme nous l'avons dit, la quantité d'électricité qui passe par seconde dans la section d'un conducteur qui met la machine en communication avec le sol.

Disons dès à présent que l'électricité galvanique est caractérisée au contraire par un faible potentiel et par un grand débit.

L'électricité galvanique doit son nom au célèbre médecin et physiologiste Galvani qui, vers 1785, fit sur la grenouille l'expérience mémorable qui conduisit Volta à la découverte du couple voltaïque.

95. — Couple ou élément voltaïque. — Un couple ou un élément voltaïque (fig. 49) est constitué par deux métaux qui sont inégalement attaqués par le liquide dans lequel ils plongent.

L'un des métaux peut être remplacé par une lame de charbon de cornue.

Tel est le couple constitué par une lame de zinc et une lame de cuivre plongeant dans l'eau acidulée par l'acide sulfurique.

Relions successivement avec la lame mobile de l'électromètre le cuivre et le zinc d'un pareil élément isolé.

Nous observerons deux déviations égales et contraires.

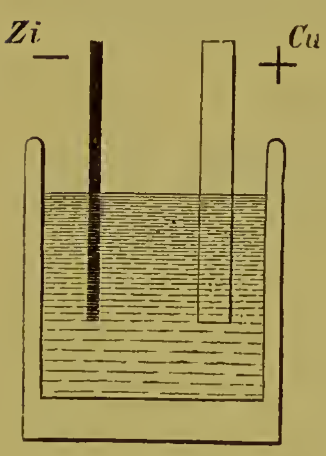


Fig. 49. — Couple voltaïque ouvert.

Le sens de la déviation nous montre que le potentiel du cuivre est positif, que le potentiel du zinc est négatif.

Dans les conditions où nous opérons, quelle que soit la position de la lame de cuivre par rapport à la lame de zinc, qu'elle en soit rapprochée ou qu'elle en soit éloignée, nous observerons toujours les mêmes déviations.

Nous en conclurons comme le pensait Volta, que c'est au contact du zinc et de l'eau acidulée que naît la différence du potentiel; que le zinc étant au potentiel — 10 par exemple l'eau acidulée en contact avec le zinc passe brusquement au potentiel + 10.

Toutes les portions de l'eau acidulée sont au même potentiel + 10 et le cuivre dans les diverses positions que nous lui donnons se met en équilibre de potentiel avec l'eau acidulée.

Si nous mettons le cuivre en communication avec le sol c'est-à-dire au potentiel 0, le potentiel du zinc devient — 20. La différence de potentiel qui était

$$+10 - (-10) = +20 \text{ devient } 0 - (-20) = +20.$$

Elle est restée constante. Cette différence de potentiel est encore constante si c'est le zinc qui communique avec le sol. Le potentiel du cuivre devient + 20.

Nous pouvons en outre constater au moyen de l'électromètre que le zinc est électrisé négativement, le cuivre positivement.

Ainsi donc :

1° Dans un couple voltaïque une différence de potentiel

constante s'établit au contact du métal le plus attaquable et du liquide ;

2° Le couple étant isolé, le métal le plus attaqué est à un potentiel négatif, le métal qui n'est pas attaqué ou qui est moins attaqué est à un potentiel positif;

3° Le premier métal est électrisé négativement, le second est électrisé positivement.

96. — Pôle positif, pôle négatif. — On appelle pôle positif le métal chargé d'électricité positive qui est au potentiel le plus élevé ; le deuxième métal chargé d'électricité négative au potentiel le plus faible est le pôle négatif.

Le pôle négatif dans un couple voltaïque est toujours le métal attaqué.

97. — Rhéophores. — On appelle rhéophores les fils conducteurs fixés sur les deux métaux du couple.

98. — Couple ouvert. — Le couple est ouvert quand les deux rhéophores ne sont pas reliés l'un à l'autre (fig. 49). Dans les observations que nous avons faites jusqu'à présent le couple est resté ouvert.

Le couple étant ouvert, nous constatons, si le zinc est pur, qu'il n'y a aucun dégagement gazeux. Le zinc n'est pas attaqué par l'eau acidulée.

99. — Couple fermé. — Le couple est fermé (fig. 50) quand les deux rhéophores sont reliés l'un à l'autre soit directement, soit par l'intermédiaire d'un autre corps conducteur.

Le couple étant fermé, nous observons immédiatement une vive action chimique et si, comme nous le supposons toujours, le zinc est pur, nous n'observons de dégagement gazeux que sur la lame de cuivre. Nous savons que l'action chimique qui se produit alors donne du sulfate de zinc et de l'hydrogène.

Nous pouvons encore au moyen de l'électromètre étudier le potentiel de l'élément lorsqu'il est fermé et dans le conducteur qui réunit les deux pôles.

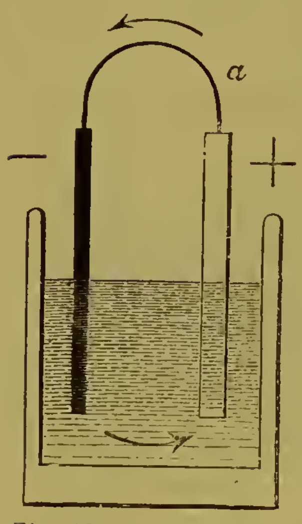


Fig. 50. — Couple voltaïque fermé.

Nous trouverons ainsi que dans le couple le potentiel du zinc est toujours — 10, le potentiel de la couche liquide en contact avec lui est + 10. Mais ce potentiel au lieu d'être constant dans tout le liquide comme tout à l'heure va en décroissant du zinc au cuivre de l'élément. Il diminue encore dans le circuit interpolaire, de positif qu'il était il devient nul puis négatif jusqu'au zinc où il prend sa valeur négative maxima en valeur absolue.

Si nous supposons le circuit conducteur qui va du zinc au cuivre dans l'élément et du cuivre au zinc dans le conducteur interpolaire développé rectilignement et représenté par une ligne AB (fig. 51), nous pourrons représenter les potentiels aux divers points du circuit par des ordonnées, élevées au-dessus de AB quand ils sont positifs, et au-dessous quand ils sont négatifs. L'ordonnée AA′ représentera le potentiel + 10 de la couche d'eau acidulée en contact avec le zinc, BB′ sera le potentiel du zinc — 10 et CC′ celui du cuivre. Le conducteur interpolaire étant un fil homogène ayant partout la même section, le potentiel décroît régulièrement et la ligne qui réunit les sommets des ordonnées se compose de deux lignes droites, A′C′ qui correspond aux potentiels de l'élément et C′B′ qui correspond aux potentiels du fil interpolaire.

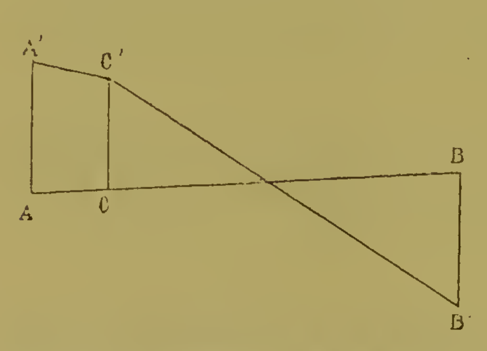


Fig. 51. — Schéma de la distribution des potentiels dans un circuit fermé.

Ainsi donc l'électromètre nous montre que les divers points du circuit sont à des potentiels décroissants depuis la couche liquide en contact avec le zinc jusqu'au cuivre dans le couple et depuis le cuivre jusqu'au zinc dans le conducteur interpolaire.

L'équilibre électrique n'existe donc pas et, conformément à ce que nous avons dit, il y a mouvement électrique des points où le potentiel est le plus élevé vers les points où il est le plus bas ; du zinc au cuivre dans l'élément, du cuivre au zinc dans le conducteur interpolaire.

100. – Force électromotrice.— On appelle force électromotrice la cause de ce mouvement d'électricité. Cette cause est la variation brusque de potentiel qui s'établit au contact du zinc et de l'eau acidulée.

Aussi nous dirons que cette différence mesure la force électromotrice du couple. C'est, comme nous l'avons dit, la différence entre les potentiels du cuivre et du zinc quand le circuit est ouvert.

101.— Action chimique.— Le circuit étant fermé, nous voyons se manifester une action chimique.

Il se produit du sulfate de zinc avec dégagement de chaleur. Il y a donc mise en liberté d'énergie calorifique. Une partie de cette énergie est consommée dans le cas très simple que nous avons considéré pour décomposer l'eau dont l'hydrogène s'est dégagé sur le cuivre, une autre partie est restée dans le couple dont la température s'est élevée, une troisième partie a échauffé le conducteur interpolaire, ce que nous pourrions constater en mettant ce fil dans un calorimètre.

Dans tous les phénomènes que nous aurons à étudier, nous verrons de même l'énergie calorifique devenue libre dans le couple ou la pile, se conserver ou se transformer (voir fig. 1).

Ainsi, en résumé : Dans un couple voltaïque le contact

entre le zinc et l'eau acidulée suffit pour donner naissance à la différence de potentiel qui mesure la force électromotrice du couple, mais il n'y a pas de courant sans action chimique, parce qu'il n'y a pas de courant sans manifestations d'énergies particulières, qui sont des transformations de l'énergie devenue libre dans le couple.

La force électromotrice d'un couple étant due au contact de deux corps différents ne dépend que de la nature de ces corps, elle est indépendante de leur surface.

La force électromotrice d'un élément peut donc servir à le caractériser. C'est ce qu'on appelle avec raison une constante du couple.

102. — Force électromotrice dans le couple. — Nous ne nous sommes occupés que de la force électromotrice résultant du contact du zinc et de l'eau acidulée parce qu'en réalité elle est prédominante, mais il existe aussi une différence de potentiel, c'est-à-dire une force électromotrice au contact de l'eau acidulée et du cuivre, et la force électromotrice d'un élément n'est que la somme algébrique des différences de potentiel qui s'établissent dans l'élément au contact des corps hétérogènes.

103. — Unité de force électromotrice Volt. — Pour comparer les forces électromotrices entre elles, on a adopté une force électromotrice unité.

L'unité pratique de force électromotrice, comme nous l'avons déjà dit, est le volt (ainsi nommée en souvenir de volta).

Nous avons dit que le volt valait $\frac{1}{3 \times 10^2}$ ou $\frac{1}{300}$ de l'unité électrostatique de potentiel dans le système C. G. S.

104. — Éléments étalons. — On construit des éléments étalons dont la force électromotrice évaluée en volts peut être considérée comme constante.

Tel est l'élément Latimer Clark dont la force électromotrice est 1 volt 435.

Un élément Daniell a une force électromotrice sensiblement égale à 1 volt (1 volt 08).

105. — Résistance. — C'est l'obstacle plus ou moins grand qu'un corps conducteur oppose au déplacement de l'électricité qui constitue le courant.

Si on compare comme on le fait souvent le mouvement de l'électricité à celui d'un liquide dans un tuyau, on comprend que la longueur, la section, la nature du conducteur, peuvent faire subir à la marche du courant des variations analogues à celles que les mêmes éléments exercent sur la vitesse d'un liquide dans un tuyau.

Pouillet a étudié la résistance qu'un conducteur fait subir au courant.

Il a établi qu'elle est proportionnelle à sa longueur, inversement proportionnelle à sa section et dépend d'un facteur numérique variable avec la nature du conducteur, qu'on appelle sa résistance spécifique, de sorte que la résistance ρ d'un conducteur peut se représenter par la formule $\rho = \frac{kl}{s}$, l étant la longueur du fil, s sa section et k sa résistance spécifique qu'on définit souvent la résistance du conducteur sous l'unité de longueur et l'unité de section.

106. — Unité pratique de résistance Ohm. — L'unité pratique de résistance est l'Ohm, ainsi nommée en souvenir du physicien Ohm, qui découvrit une des lois fondamentales de l'électricité.

On appelle ainsi la résistance d'une colonne de mercure de 1^{mmq}, de section et de $1^m,06$ de longueur à 0.

107. — Unité Siemens. — A l'étranger, on adopte souvent comme unité de résistance l'unité Siemens, résistance d'une colonne de mercure de 1^{mmq} de section et de 1 mèt. de longueur à 0. La résistance d'un conducteur étant pro-

portionnelle à sa longueur, il est facile de voir qu'une unité Siemens vaut $\frac{1}{1,06}$ Ohm = 0 ohm 943.

108. — Résistance étalon. — On construit des étalons de résistance formés par des tubes de verre étroits dont la section est 1^{mmq}, plusieurs fois recourbés de façon que, malgré leur longueur de 1 mèt., ils occupent peu de place. Le tube étroit est terminé par deux larges godets. Il est entouré de glace fondante et rempli de mercure (fig. 52).

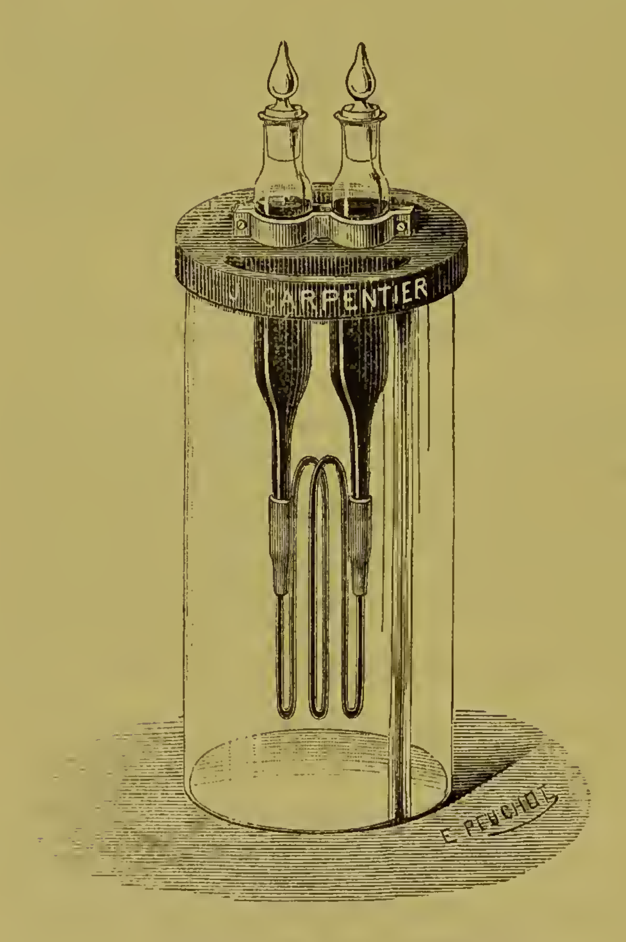


Fig. 52. — Ohm étalon construit par la maison Carpentier.

Le mercure contenu dans les godets offre au courant une résistance négligeable à cause de leur grande section. Les fils par lesquels entre et sort le courant plongent dans le mercure.

Un pareil étalon est d'un maniement difficile. On le remplace avantageusement dans la pratique par un étalon formé par un fil métallique choisi de telle façon que sa résistance soit exactement égale à celle de l'Ohm étalon au mercure.

On a choisi le maillechort de préférence aux autres métaux parce que sa résistance varie peu avec la température.

109.— Boites de résistances.— Pour les besoins de la pratique on a des boîtes de résistances (fig. 53) dans lesquelles les résistances sont graduées comme les poids dans les boîtes qui les contiennent.

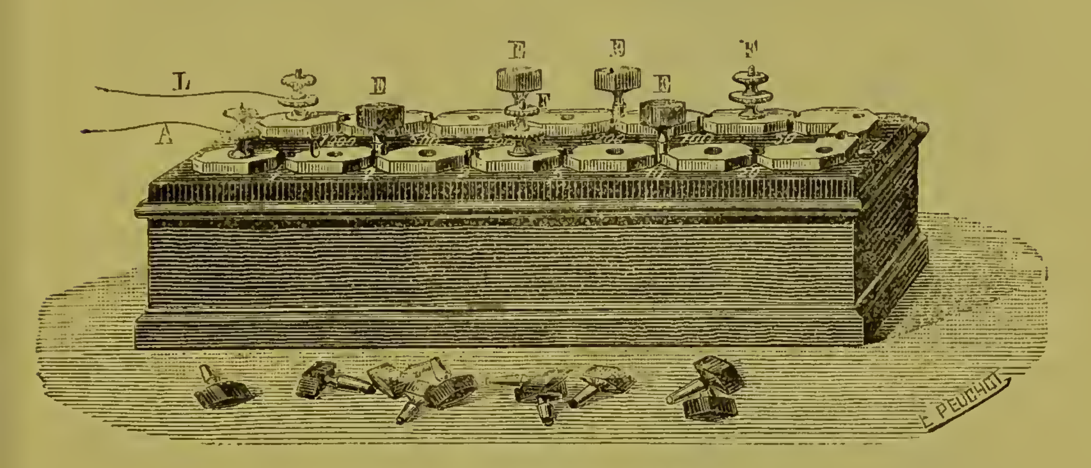


Fig. 53. — Boîte de résistances.

On y trouve d'abord les résistances 1 ohm, 2 ohms, 2 ohms, 5 ohms avec lesquelles on peut former toutes les résistances de 1 à 10 ohms. Vient ensuite la série des dizaines d'ohms constituée de la même façon, 10 ohms, 20 ohms, 20 ohms, 50 ohms, etc. Ces diverses résistances sont logées dans une boîte où elles sont isolées par de la paraffine. Le fil qui les constitue est enroulé de façon à former deux spirales (fig. 54) que le courant traverse

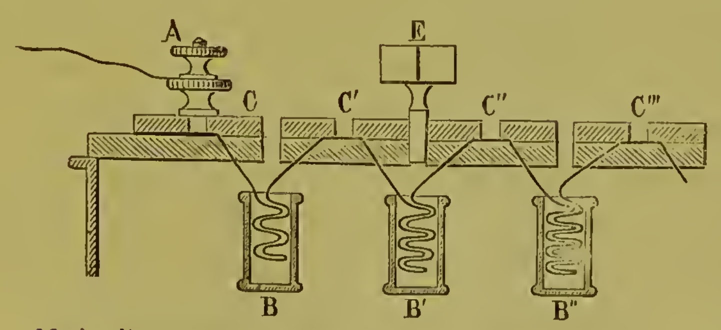


Fig. 54. — Mode d'enroulement et de réunion des spirales de résistance.

en sens contraire. Les extra-courants qui se produisent au moment de l'ouverture et de la fermeture du courant détruisent mutuellement leurs effets.

Les extrémités de cette spirale double sont fixées aux bords opposés de lames de laiton sans résistance fixées sur le couvercle en ébonite de la boîte.

L'intervalle entre les lames C C′ C″ peut être comblé par une cheville en laiton fixée à un morceau d'ébonite Les rhéophores de la pile sont fixés aux lames métalliques où aboutissent le commencement de la première et l'extrémité de la dernière résistance.

La cheville étant en place, le courant qui suit le chemin de plus faible résistance ne passe dans le fil qu'en quantité insignifiante. Il y passe tout entier quand la cheville est enlevée.

110. — Rhéostats. — Dans les applications médicales et physiologiques, les appareils destinés à faire varier les résistances sont souvent appelés des rhéostats.

111. — Rhéostat de Dubois Reymond. — Dubois Reymond s'est servi dans ses expériences physiologiques de dispositions analogues (fig. 55). Le courant est amené à une barre métallique sans résistance présentant également des solutions de continuité qu'on peut combler avec des chevilles lorsqu'on ne veut pas que le courant traverse les résistances I^b, I_e, II, V, X[1] qui aboutissent aux bords opposés de ses solutions de continuité 1, 2, 3, 4, 5, 6. Le rhéostat comprend en outre une disposition connue sous le nom de rhéocorde de Ponillet qui permet de n'introduire dans le circuit qu'une fraction d'ohm.

Le rhéocorde se compose de deux fils de platine A A′, B B′ tendus parallèlement le long de deux règles divisées en millimètres. Les deux fils sont reliés l'un à l'autre par un pont métallique sans résistance qui glisse le long des fils.

Dans la figure, c'est un chariot métallique avec index

[1] Ces chiffres romains signifient que les résistances correspondantes valent 1, 2, 5 et 10 fois la résistance maximum du rhéocorde.

K soudé aux dés en fer D D′ pleins de mercure et fermés

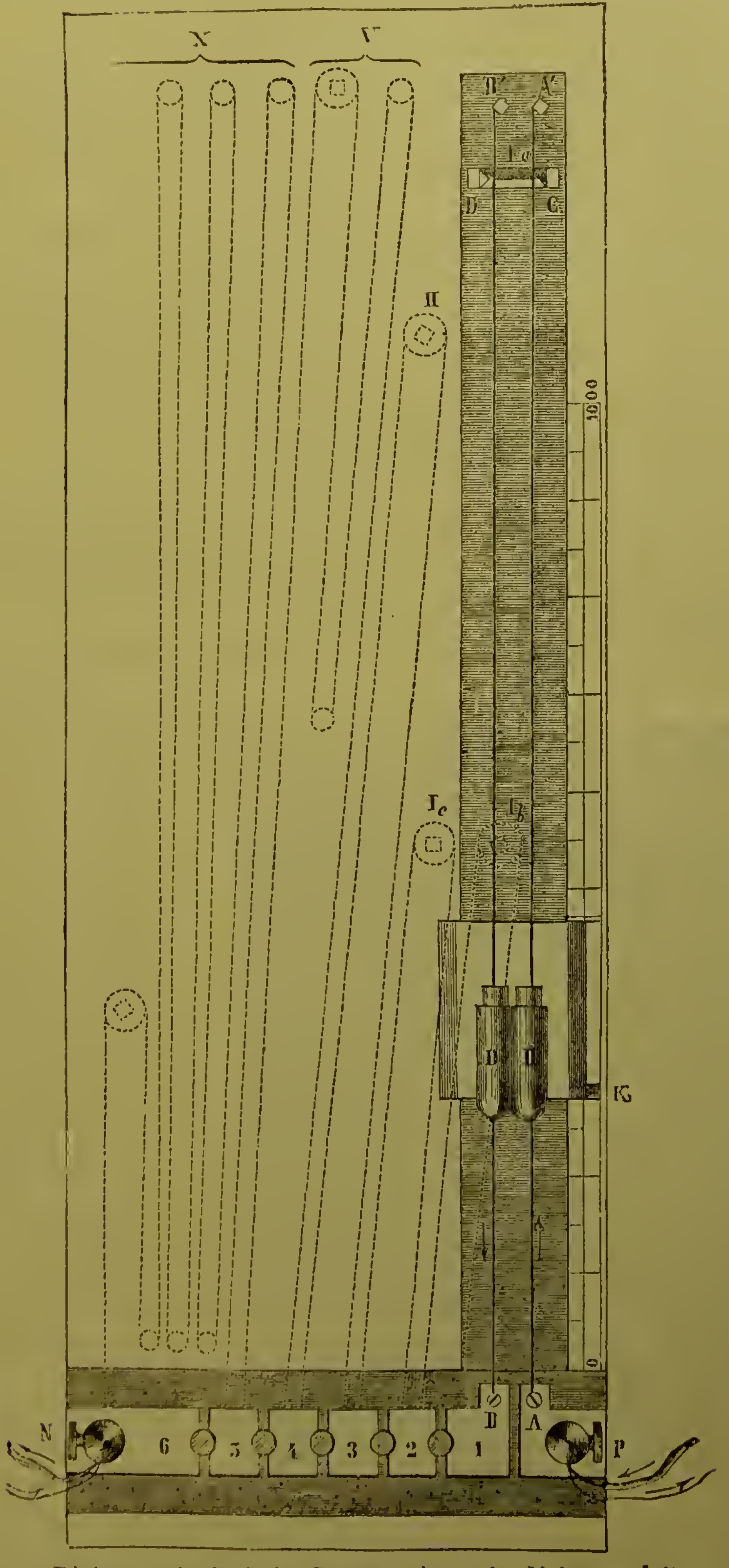


Fig. 55. — Rhéostat de Dubois Reymond. — P, N bornes d'entrée et de sortie du courant.

par des bouchons que les fils du rhéocorde traversent avec frottement.

La résistance en ohms d'une longueur déterminée de fil ayant été déterminée une fois pour toutes, on connaît la résistance du fil A A′ compris entre A et K. Si par exemple 1 mèt. de ce fil a une résistance d'un ohm, 1 millim. a une résistance égale à $\frac{1}{1000}$ d'ohm. Si la longueur du fil lue sur la règle égale 20^{mm}, la résistance de chaque portion du fil égale $\frac{20}{1000}$ d'ohm. C'est le double de cette résistance qui est introduit dans le circuit.

112. — Rhéostats a spirale de maillechort. — Ces rhéostats sont construits par les maisons Blänsdorf (de Francfort) et Chardin (de Paris).

L'un d'eux (fig. 56) consiste en une série de bobines en fil de maillechort maintenues dans un cadre et dont les extrémités sont reliées aux diverses pastilles qui, dans le bas de la figure ont leurs centres disposés sur une demi-circonférence. Une des extrémités de la première spirale aboutit à une des pastilles marquée IN. Son autre extrémité communique avec la deuxième pastille, qui est aussi reliée à l'une des extrémités de la

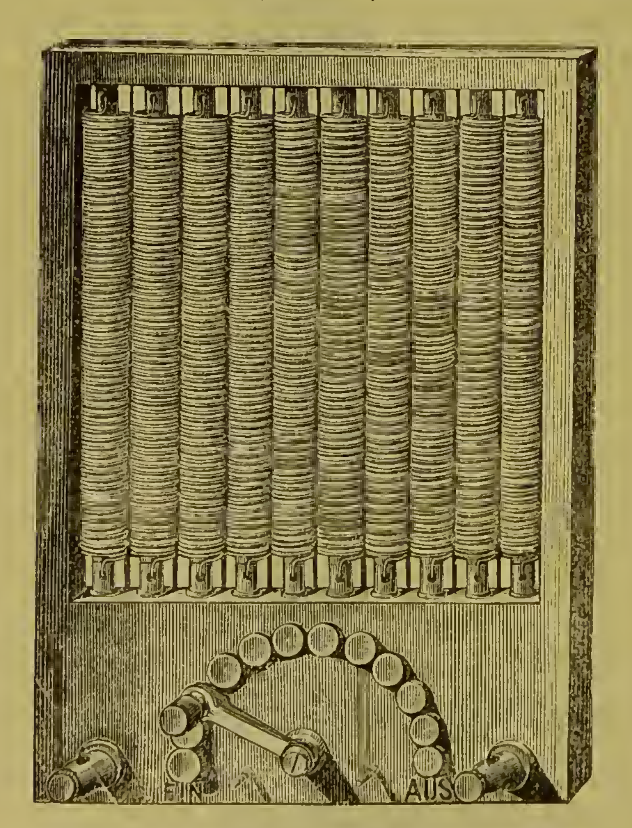


Fig. 56. — Rhéostat à spirale de maillechort. Modèle de la maison Blänsdorf (de Francfort) : 25 fr.

deuxième bobine, dont l'autre extrémité communique avec la troisième pastille et ainsi de suite jusqu'à la pastille marquée A U S. Au centre de la circonférence sur laquelle les pastilles sont disposées correspond un axe métallique autour duquel tourne un levier conducteur qu'on peut déplacer au moyen d'une manette dont l'extrémité, élargie de façon à pouvoir toucher simultanément deux pastilles, peut être amenée sur les diverses pastilles. Il est facile de voir que, si la première pastille communique par la borne de droite avec le pôle + de la pile et si l'axe du levier est relié par la borne de gauche au pôle négatif, on pourra introduire successivement les diverses résistances dans le circuit en augmentant ainsi progressivement la résistance opposée au passage du courant.

Un autre modèle (fig. 57), qui est particulièrement utilisé pour la galvanocaustique est une spirale en fil de maillechort, dont une extrémité communique avec le pôle positif de la pile. Le pôle négatif communique avec un axe métallique autour duquel tourne un levier conducteur, dont l'extrémité peut être amenée sur les diverses régions de la spirale. On peut aussi, comme on le comprend facilement, faire augmenter ou diminuer progressivement la résistance par un déplacement convenable du levier.

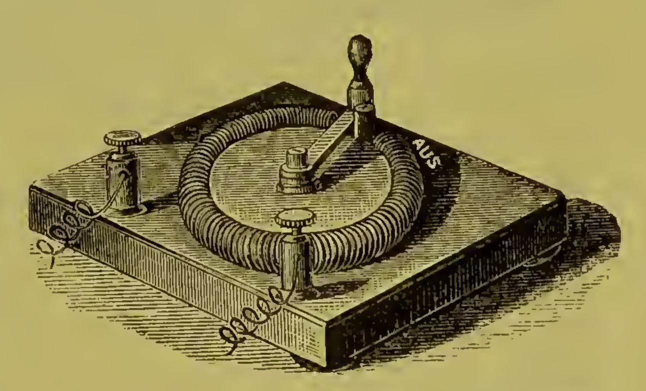


Fig. 57. — Rhéostat à spirale de maillechort. Modèle de la maison Blänsdorf (de Francfort) : 15 fr

113. — Rhéostat de Duchenne. — Duchenne employait comme rhéostat (fig. 58) une solution de sulfate de cuivre contenue dans une éprouvette cylindrique. Le courant arrivait par une plaque de cuivre et sortait par une tige

également en cuivre qu'on enfonçait plus ou moins, suivant la résistance qu'on voulait obtenir. Cette résistance était représentée par la colonne liquide interposée entre la partie inférieure de la tige et la plaque inférieure.

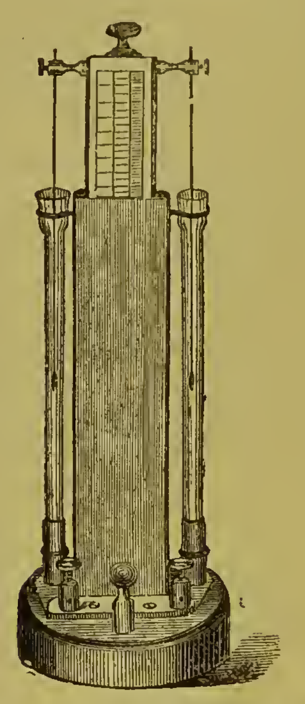


Fig. 58. — Double rhéostat de Duchenne, construit par Blänsdorf (de Francfort). Prix : 25 fr. Les deux tubes sont remplis de la solution saline. Les tiges métalliques sont reliées à un curseur qui se déplace en même temps qu'elles et qui porte une règle divisée sur laquelle on lit la longueur de chacune des colonnes liquides qui forme résistance.

114. — Rhéostat de Lewandowski. — Le professeur Lewandowski a fait construire par le constructeur Leiter (de Vienne), un rhéostat très commode pour les applications électrothérapiques (fig. 59 et 60).

La partie principale de cet appareil est un disque de verre mobile autour d'un axe C passant par son centre et sur la périphérie duquel on a collé une bande de graphite repliée en zigzag. Les diverses parties de cette ligne sinueuse ayant des largeurs différentes ne présentent pas la même résistance sous la même longueur. Le disque tourne au moyen d'un bouton D dans une boîte cylindrique en ébonite dont le fond porte une cavité G dans laquelle on a introduit du mercure qui communique avec une des bornes L.

L'une des extrémités de la bande de graphite est reliée métalliquement à l'axe autour duquel tourne le disque de verre et cet axe communique par une bande métallique avec l'autre borne L.

Si le pôle positif de la pile est relié à la borne de droite et si son pôle négatif communique avec la borne de gauche, on voit que la partie de la bande de graphite qui intervient comme résistance dans le circuit sera la partie *g* (fig. 60) comprise entre son extrémité et le bain de mercure.

Ce rhéostat réalise toutes les conditions qu'on doit demander aux rhéostats médicaux.

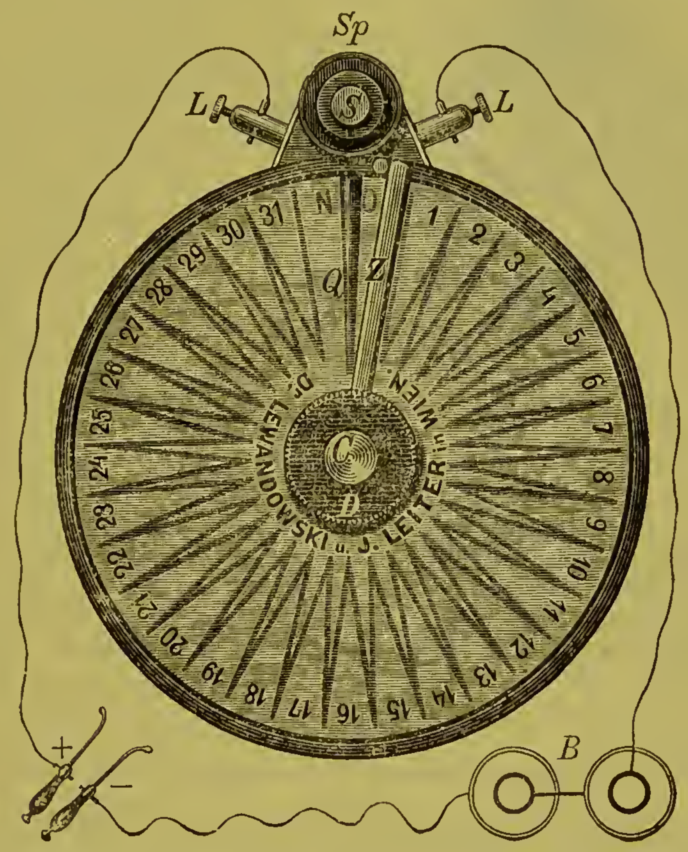


Fig. 59.— Rhéostat de Lewandowski. Le courant entre par L, va au mercure qui est dans les cavités S et Q, passe dans le conducteur en zigzag formé par des lamelles de graphite fixées sur le disque en verre mobile, sort par la tige Z, reliée par l'axe à une des deux bornes L. Prix : 36 fr. 75.

La résistance augmente ou diminue d'une façon progressive sans interruption du courant, et son maniement est des plus pratiques. Il ne tient pas de place, et son prix est peu élevé.

Ce rhéostat ne permet pas de mesurer la résistance comme les boîtes de résistances et comme le rhéocorde. Il ne sert que pour augmenter progressivement l'intensité du courant et pour la faire décroître avec lenteur quand la séance est terminée.

115. — Résistance d'un élément. — L'unité de résistance pratique étant adoptée, la résistance d'un

élément voltaïque peut toujours être évaluée en ohms.

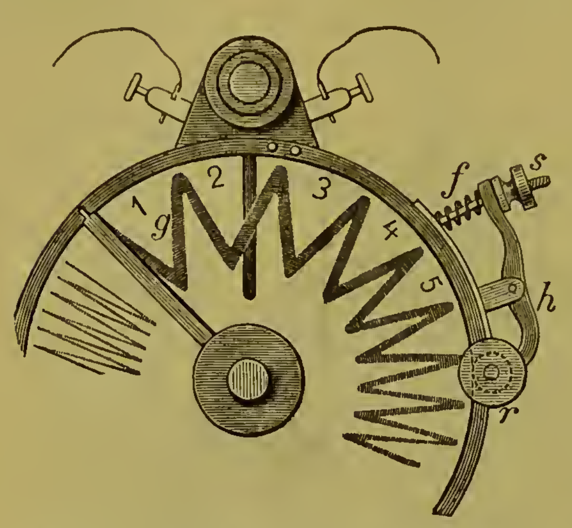


Fig. 60. — Rhéostat de Lewandowski. La résistance introduite dans le circuit est la partie 1 2 du conducteur en graphite *g*, comprise entre le bain de mercure et la lame mobile qui communique avec l'axe. Latéralement est un bouton *r* au moyen duquel on imprime au disque des déplacements très lents.

La résistance d'un élément varie avec la nature des liquides excitateurs, avec la surface immergée, avec la distance qui les sépare.

Au point de vue pratique il faut se rappeler que, si un petit élément a la même force électromotrice qu'un grand élément, la résistance du premier est beaucoup plus grande que celle du second.

116. — Résistance du corps humain. — Le corps humain présente au courant une résistance qu'on a comparée à l'unité de résistance.

Cette résistance est assurément celle qui intéresse le plus le médecin. Disons dès à présent qu'on lui attribue généralement une valeur de 4,000 à 6,000 ohms.

117. — Intensité du courant. — On compare souvent, nous l'avons dit, le mouvement de l'électricité à celui d'un liquide. Or, quand un liquide circule dans un tuyau présentant des renflements et des rétrécissements, la quantité de liquide qui passe dans chaque section droite pendant l'unité de temps est partout la même.

En étendant cette notion à l'écoulement de l'électricité dans un circuit conducteur, on est amené à dire que le régime étant établi la quantité d'électricité qui passe dans une section quelconque du conducteur, aussi bien dans l'élément que dans le conducteur interpolaire, est constante.

On appelle intensité du courant la quantité d'électricité qui traverse pendant une seconde la section droite des conducteurs.

118.— Unité pratique d'intensité ampère. — L'unité pratique d'intensité s'appelle l'ampère.

119. — Quantité d'électricité. — D'après la définition de l'intensité, la quantité d'électricité qui traverse une section du conducteur pendant t secondes sera égale à t fois l'intensité.

Ce que l'on exprime par la formule $Q = It$.

Q représentant la quantité d'électricité, I l'intensité et t le temps évalué en secondes.

120.— Unité pratique de quantité coulomb.— L'unité pratique de quantité s'appelle, comme nous l'avons dit déjà, le coulomb. Il résulte de la relation précédente que $Q = I$ si $I = 1$ et $t = 1$.

Le coulomb est donc la quantité d'électricité qui passe pendant une seconde dans une section droite du conducteur, l'intensité du courant étant 1 ampère.

L'intensité du courant étant 10 ampères, pendant 30 secondes la quantité d'électricité qui traverse chaque section du conducteur est égale à 300 coulombs.

121. — Ampère-heure. — Dans les applications industrielles on désigne souvent sous le nom d'Ampère-heure la quantité d'électricité fournie par un courant d'1 ampère pendant une heure, c'est-à-dire 3,600 secondes. On voit d'après la relation $Q = It$ que l'ampère-heure vaut 3,600 coulombs.

122. — Unité d'intensité médicale. — Dans les applications médicales l'ampère est une intensité trop grande. L'unité d'intensité médicale est généralement le milli-ampère, c'est-à-dire le millième d'ampère, et quelquefois le dix-milli-ampère, c'est-à-dire le $\frac{1}{10000}$ d'ampère.

123. — Énergie du courant. — Le courant qui produit des phénomènes calorifiques lumineux, chimiques, etc., est une source d'énergie.

On démontre que l'énergie d'un courant est le produit de la force électromotrice par l'intensité et par le temps.

Ce que l'on exprime généralement par la formule

$$W = E\,I\,t$$

W étant l'énergie, c'est-à-dire le travail maximum que le courant peut produire pendant t secondes.

Souvent on considère l'énergie du courant pendant une seconde et on écrit $W = EI$.

$$\text{Si } E = 1 \quad I = 1 \quad W = 1$$

124. — Unité d'énergie. — On appelle watt le travail produit pendant une seconde par un courant ayant une force électromotrice d'un Volt et une intensité d'un ampère.

Le travail ou l'énergie d'un courant s'évaluent en watts en multipliant son intensité en ampères par la force électromotrice en volts.

Ainsi un courant de 10 ampères et d'une force électromotrice de 50 volts a une énergie pendant une seconde de 500 watts.

On montre facilement que pour obtenir le nombre de kilogrammètres correspondant à un nombre de watts déterminé il suffit de diviser ce nombre par 9.8088 ou pratiquement par 10.

Ainsi un travail ou une énergie de 500 watts équivaut à un travail de 50 kilogrammètres.

125. — Loi de Ohm. — Le physicien allemand Ohm a démontré que l'intensité du courant fourni par un élément ou par plusieurs éléments est proportionnelle à sa force électromotrice et varie en raison inverse de la résistance totale formée par l'élément et par le conducteur interpolaire.

Ce que l'on exprime par la formule $I = \frac{E}{R}$.

I étant l'intensité, E la force électromotrice, R la résistance totale.

On distingue souvent la résistance intérieure, c'est-à-dire celle du couple et la résistance extérieure, qui est celle du circuit interpolaire. R et r étant ces deux résistances, la loi de Ohm s'exprime par la formule $I = \frac{E}{R + r}$.

126.— Force électromotrice entre deux points. — Il importe de distinguer ici la force électromotrice du couple de la force électromotrice entre deux points du conducteur.

Représentons (fig. 61) comme nous l'avons fait précédemment la longueur totale du circuit par une longueur comptée sur une ligne horizontale et les potentiels aux divers points par des verticales comptées dans un sens ou dans l'autre, suivant que le potentiel est positif ou négatif. En réunissant les extrémités des verticales par une ligne continue nous aurons une ligne brisée A′ C′ B′.

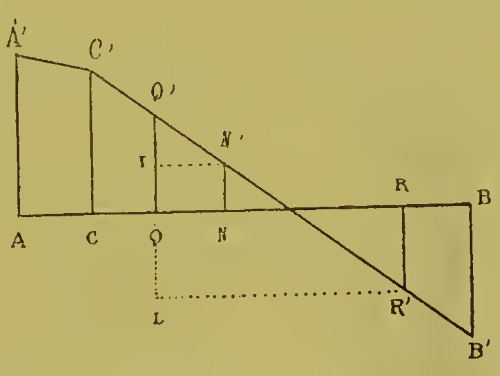


Fig. 61. — Schéma, figure représentant la distribution des potentiels aux divers points du circuit fermé et faisant comprendre ce que l'on entend par différence de potentiel entre deux points.

AA' représentent le potentiel positif de la couche liquide en contact avec le zinc, BB′ le potentiel égal et de signe contraire du zinc. La force électromotrice du couple, c'est la différence de potentiel entre le potentiel de la couche d'eau acidulée qui touche le zinc et le potentiel du zinc; il est représenté graphiquement par la somme des verticales AA′ + BB′.

La force électromotrice aux bornes, c'est la différence des potentiels du cuivre ou du métal positif (qui peut être remplacé par du charbon) et du zinc.

Le circuit étant ouvert, cette différence de potentiel est

égale à la force électromotrice du couple, mais si le circuit est fermé elle est très différente.

Si C C′ représente le potentiel du cuivre, la force électromotrice aux bornes est la somme CC′ + BB′. Enfin la force électromotrice entre deux points du conducteur, c'est toujours la différence du potentiel entre ces deux points.

Cette différence du potentiel est représentée par la différence des verticales qui représentent les potentiels quand ils sont de même signe, par leur somme quand ils sont de signes contraires. Ainsi la force électromotrice entre les points O et R du circuit égale O′ L. Celle qui existe entre les points O et N est O′ I.

L'expression force électromotrice aux bornes provient de ce que les lames de zinc et les lames de cuivre sont reliées à des bornes en laiton (fig. 62), percées de trous, dans lesquelles on introduit les extrémités des rhéophores qui y sont maintenues par des vis de pression.

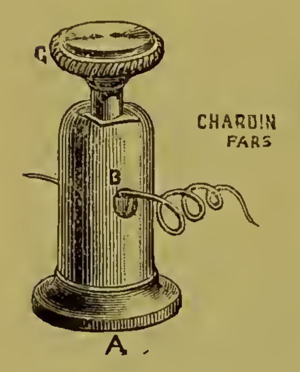


Fig. 62. — Bornes des appareils médicaux. B trou où l'on engage le rhéophore. C vis de pression qui le fixe.

Quand un rhéophore communique avec l'aiguille de l'électromètre on détermine le potentiel de la borne correspondante qui, au point de vue pratique, représente aussi celui de la lame du couple à laquelle elle est reliée.

Dans tous les cas la loi de Ohm est applicable.

E, e, e' désignant les forces électromotrices du couple aux bornes et entre deux points du conducteur interpolaire, R la résistance totale, r la résistance du circuit interpolaire, r' celle qui existe entre les deux points considérés, on a toujours :

$$I = \frac{E}{R} = \frac{e}{r} = \frac{e'}{r'}$$

CHAPITRE II.

PILES.

---

127. — Définition. — On appelle pile une association de couples ou éléments.

Dans les applications médicales et physiologiques les éléments sont associés :

1° En tension ou en série;

2° En batterie ou en surface ;

3° En opposition.

128.— Association en série.—Le cuivre du 1er élément étant libre, le zinc du 1er élément communique métalliquement avec le cuivre de l'élément suivant. Le cuivre du 2e élément communique avec le zinc du 3e élément et ainsi de suite jusqu'au dernier élément, dont le zinc est libre (fig. 63).

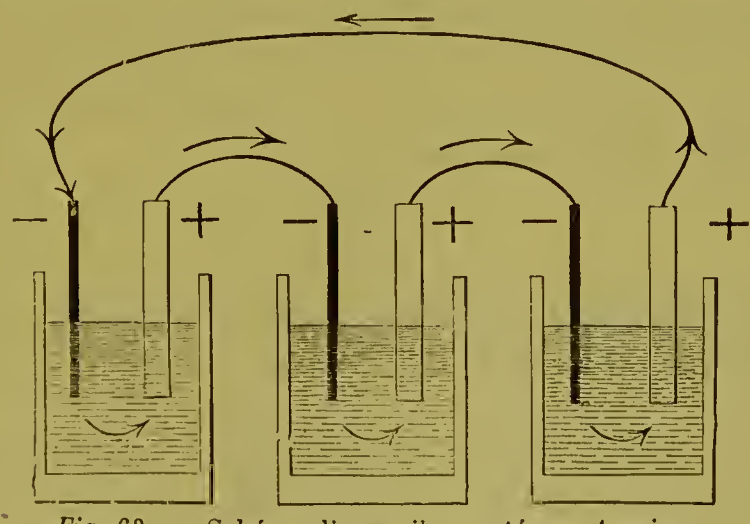


Fig. 63. — Schéma d'une pile montée en tension.

Les lames zinc et cuivre qui sont libres dans les éléments extrêmes constituent l'une le pôle négatif, l'autre le pôle positif.

On réunit à ces lames deux bornes dans lesquelles on maintient les deux rhéophores.

On démontre facilement au moyen de l'électromètre que la force électromotrice, différence de potentiel entre les bornes, croît proportionnellement au nombre des couples que nous supposons identiques. Si par exemple la force électromotrice d'un couple est 1 volt, la force électromotrice d'une pile de 10 couples est de 10 volts.

La résistance intérieure, c'est-à-dire la résistance de la pile que le courant traverse, croît aussi, cela se comprend, proportionnellement au nombre des couples; les éléments étant identiques, si la résistance d'un élément est 10 ohms, la résistance de dix éléments est 10×10 ou 100 ohms.

La résistance extérieure ne dépend pas du nombre des couples. Elle peut être considérée comme constante, égale à 20 ohms par exemple.

La loi de Ohm s'appliquant aux piles comme aux éléments, on a pour l'intensité :

$$I = \frac{10 \times 1}{10 + 10 \times 20} = \frac{1}{12} \text{ d'ampère.}$$

D'une façon générale, si I est l'intensité du courant, E la force électromotrice d'un élément, R la résistance intérieure d'un élément, r la résistance extérieure, le nombre des éléments étant n, on a :

$$I = \frac{nE}{nR + r}$$

L'intensité est toujours exprimée en ampères, quand E est exprimé en volts, R et r en ohms.

129. — Association en batterie. — Dans ce mode d'association on réunit métalliquement les pôles positifs de tous les éléments ainsi que tous les pôles négatifs. On peut, par exemple, associer des couples voltaïques en reliant les zincs et les cuivres à deux tiges métalliques isolées l'une de l'autre.

Des bornes étant fixées à ces tiges, on peut les réunir par un conducteur qui ferme le circuit.

Une pile ainsi disposée a la même force électromotrice qu'un seul élément, mais la résistance est d'autant plus petite que le nombre des couples est plus grand.

La pile peut être considérée comme formée par un seul élément dont la section est 2, 3 fois plus grande quand le nombre des couples est 2, 3 fois plus grand. La résistance intérieure est donc 2, 3 fois plus petite.

Ainsi par exemple, si la force électromotrice de chacun des éléments est 1 volt, la force électromotrice de la pile est aussi un volt.

Mais, la résistance de chacun des éléments supposés identiques étant 10 ohms, la résistance d'une pile formée de 10 éléments associés en batterie est $\frac{10}{10} = 1$ ohm, de sorte que d'après la loi de Ohm l'intensité

$$I = \frac{1}{\frac{10+20}{10}} = \frac{1}{21} \text{ d'ampère}$$

ou bien, d'une façon générale, en conservant les mêmes notations que ci-dessus :

$$I = \frac{E}{\frac{R+r}{n}} = \frac{nE}{R+nr}$$

130. — Association en opposition. — On groupe les éléments en 2 séries, on a ainsi deux piles qu'on réunit par leurs pôles de même nom. La résistance intérieure est la somme des résistances des 2 piles associées, mais les courants fournis par les deux piles marchant en sens contraire, la force électromotrice totale n'est que la différence de leurs forces électromotrices (fig. 64).

Ainsi supposons que l'une des piles soit formée de deux éléments, que la 2[e] soit formée de 3 éléments, la force électromotrice de chacun d'eux étant 1 volt, la force

électromotrice totale est 3 volts moins 2 volts, c'est-à-dire 1 volt. La résistance intérieure est la somme des résistances de tous les éléments. Si chacun d'eux a une résistance de 10 ohms, la résistance intérieure sera 50 ohms. Si la résistance extérieure égale 20 ohms, la loi de Ohm nous donne

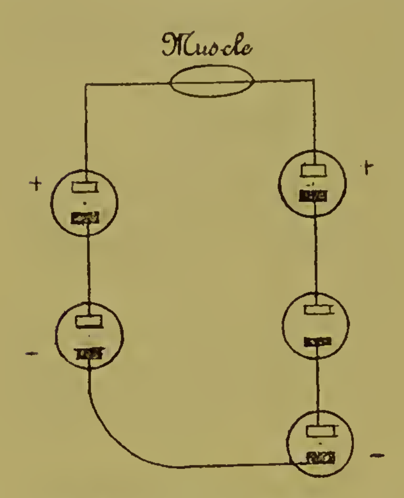


Fig. 64. — Pile montée en opposition.

$$I = \frac{3 - 2}{50 + 20} = \frac{1}{70} \text{ d'ampère.}$$

Et en général si on désigne par n et n' le nombre des éléments des couples de chaque pile, par E la force électromotrice de chacun d'eux, par R leur résistance, par r la résistance extérieure, on a : $I = \frac{nE - n'E}{nR + n'R + r}$. Dans le cas particulier, on a : $n = n'$, c'est-à-dire dans le cas où les piles associées ont le même nombre d'éléments, l'intensité du courant est nulle.

C'est ce mode d'association que M. Chauveau a employé dans ce qu'il appelle la méthode de retournement[1].

Il prenait deux piles comprenant chacune 10 éléments qu'il associait en opposition. L'intensité du courant était alors nulle. Il retournait un élément de l'une des piles, c'est-à-dire que son pôle positif prenait la place de son pôle négatif et inversement Dans cette situation cet élément s'associait en série avec l'autre pile, qui comprenait alors 11 éléments tandis que la première n'en comprenait plus que 9. La force électromotrice totale devenait égale à la force électromotrice de 2 éléments. En retournant un deuxième élément, l'une des piles comprenait 12 éléments, l'autre n'en avait plus que 8, la force électromotrice totale devenait égale à celle de 4 éléments et ainsi de suite. La résistance totale restant constante,

[1] Art. *Électrophysiologie* du *Dictionnaire de Dechambre*.

on voit à cause de la formule $I = \frac{E}{R}$ que, E croissant comme les nombres 1, 2, 3 alors que R ne change pas, l'intensité du courant devient successivement 1, 2, 3 fois plus grande.

131. — Autres modes d'association. — Indépendamment de ces trois modes d'association on peut avoir recours à des groupements très différents.

Ainsi supposons que nous ayons 50 couples ayant chacun une force électromotrice de 1 volt d'une résistance égale à 10 ohms, la résistance extérieure étant 2000 ohms. Parmi toutes les combinaisons, nous pouvons adopter la suivante : former 5 groupes ayant chacun 10 éléments réunis en batterie et associer ces 5 piles de 10 éléments en série.

La résistance de chacun des groupes sera $\frac{10}{10} = 1$ ohm.

La résistance de 5 groupes sera $\frac{10}{10} \times 5$ ohms.

La force électromotrice de la pile sera 5×1 volts, et, la résistance extérieure traversée par le courant étant 2000 ohms, l'intensité sera :

$$I = \frac{5 \times 1}{\frac{10}{10} \times 5 + 2000} = \frac{1}{401} \text{ d'ampère.}$$

Et en général, si on a n éléments on pourra en former $\frac{n}{p}$ groupes comprenant chacun p éléments montés en batterie. La résistance de chacun d'eux étant R, la résistance extérieure r, E étant la force électromotrice d'un élément, l'intensité

$$I = \frac{\frac{n}{p} \times E}{\frac{n}{p^2} R + r} = \frac{n p E}{n R + p^2 r}$$

Dans chaque cas il y a évidemment un groupement plus favorable que tous les autres. Le calcul montre que l'in-

tensité maximum est obtenue pour une valeur de p donnée par la formule.

$$p = \sqrt{n \frac{R}{r}}$$

On démontre qu'avec un pareil groupement la résistance intérieure est égale à la résistance extérieure.

Si en appliquant la formule précédente, on trouve pour p une fraction, ce résultat n'a pas de sens. Il faut l'interpréter en disant qu'avec le nombre d'éléments dont on dispose on ne peut pas former plusieurs groupes associés en batterie. Le meilleur mode d'association est alors le groupement en série.

Dans tous les cas on doit se laisser guider par ce principe : *L'intensité d'un courant est maximum quand la résistance intérieure égale la résistance extérieure.*

132. — Applications médicales. — Dans les applications du courant au diagnostic et à la thérapeutique on emploie exclusivement l'association en série. Les piles montées en batterie ne sont employées que pour deux applications médicales : le galvano-cautère et l'éclairage des cavités naturelles au moyen de lampes Edison. On se conforme ainsi au principe précédent. Dans le premier cas, la résistance extérieure est le corps humain, dont la résistance est très grande. La résistance de la pile doit être elle-même très grande. Dans le deuxième cas, la résistance extérieure des fils du galvano-cautère ou des lampes Édison est relativement faible. La résistance de la pile doit être faible également. Nous verrons tout à l'heure que dans certains cas spéciaux, dans le traitement des anévrismes par exemple, on peut être conduit à un groupement particulier.

En prenant des exemples simples on comprend facilement que, dans l'association en batterie, l'intensité croît d'une façon insensible quand, la résistance extérieure étant considérable, on ajoute un certain nombre d'éléments à la

pile. C'est le cas qui se présente quand la résistance extérieure est le corps humain. Supposons toujours que la force électromotrice de chaque élément soit 1 volt, que leur résistance soit 10 ohms et que la résistance extérieure soit 2000 ohms. D'après la formule trouvée précédemment pour l'association en batterie,

$$I = \frac{20}{10 + 20 \times 2000} = \frac{20}{40010}$$

Ajoutons 4 éléments, l'intensité devient :

$$I' = \frac{24}{10 + 24 \times 2000} = \frac{24}{48010}$$

La différence :

$$I' - I = \frac{23}{48010} - \frac{20}{40010} = \frac{1}{4801000} \text{ ampères.}$$

La différence est très faible.

Supposons au contraire que nous ayons recours à l'association en série. Dans le premier cas,

$$I = \frac{20}{20 \times 10 + 2000} = \frac{1}{110}$$

Dans le deuxième :

$$I' = \frac{24}{24 \times 10 + 2000} = \frac{24}{2240}$$

La différence :

$$I' - I = \frac{1}{616} \text{ ampères}$$

Pour bien faire comprendre l'importance de tel ou tel mode de groupement suivant les applications, nous emprunterons à Watteville[1] l'exemple suivant :

Supposons que nous ayons à notre disposition 20 éléments Daniell, dont la force électromotrice est très voisine

[1] Watteville; *Abrégé d'électrothérapie.*

de 1 volt (surtout quand on remplace le sulfate de cuivre par de l'azotate de cuivre), la résistance de chacun des éléments est 10 ohms.

Dans un cas, il s'agit de faire passer le courant dans le bras, dans le deuxième dans un anévrisme, dans le troisième dans un fil de platine. La résistance extérieure dans le premier cas est 3000 ohms, dans le deuxième 8 ohms, et dans le troisième $\frac{1}{2}$ ohm.

Les intensités des courants obtenus en associant les éléments : 1° en tension ; 2° en batterie ; 3° en 5 groupes comprenant chacun 4 éléments sont contenues dans le tableau suivant :

MODE D'ASSOCIATION	BRAS	ANÉVRISME	FIL DE PLATINE
1. Série	$\frac{20 \times 1}{20 \times 10 + 3000}$ I = 0 Amp. 0062	$\frac{20 \times 1}{20 \times 10 + 8}$ I = 0 Amp. 096	$\frac{20 \times 1}{20 \times 10 + \frac{1}{2}}$ I = 0 Amp. 1
2. Batterie	$\frac{1}{\frac{10}{20} + 3000}$ I = 0 Amp. 00033	$\frac{1}{\frac{10}{20} + 8}$ I = 0 Amp. 12	$\frac{1}{\frac{10}{20} + \frac{1}{2}}$ I = 1 Ampère
3. On forme 5 groupes associés en série comprenant chacun 4 éléments	$\frac{5 \times 1}{\frac{5 \times 10 + 3000}{4}}$ I = 0 Amp. 0017	$\frac{5 \times 1}{\frac{5 \times 10 + 8}{4}}$ I = 0 Amp. 25	$\frac{5 \times 1}{\frac{5 \times 10 + \frac{1}{2}}{4}}$ I = 0 Amp. 38

D'après ce tableau, si le courant doit passer à travers le bras, c'est l'association en série qu'il faut adopter ; dans le cas de l'anévrisme c'est le dernier mode d'association

qu'il faut prendre ; pour faire rougir un fil de platine il faut avoir recours au mode d'association en batterie.

En appliquant la formule $p = \sqrt{n \frac{R}{r}}$ on trouve :

Dans le cas du bras, $p = \sqrt{\frac{20 \times 10}{3000}} = \sqrt{\frac{1}{15}} =$ sensiblement $\frac{1}{4}$

Ce qui doit être interprété, comme nous l'avons vu, en disant que tous les éléments doivent être montés en série.

Dans le cas de l'anévrisme, $p = \sqrt{\frac{20 \times 10}{8}} = \sqrt{25} = 5$

On devra donc prendre 4 groupes de 5 éléments montés en batterie ; les 4 groupes étant associés en série.

Dans le cas du fil de platine,

$$p = \sqrt{\frac{200}{0,5}} = 20$$

Il faut former un seul groupe de 20 éléments montés en batterie.

133 — Courants dérivés. — Nous avons supposé jusqu'à présent les deux pôles de la pile reliés l'un à l'autre par un seul conducteur. Mais il arrive souvent que le courant se partage suivant plusieurs conducteurs (fig. 65). On appelle alors courant principal le courant fourni par la pile. Les courants dérivés sont ceux qui traversent les divers conducteurs réunis, soit aux deux bornes de la pile P N, soit à deux points des rhéophores.

Ce sont ces courants dérivés que le médecin a le plus souvent à considérer lorsqu'il applique les rhéophores d'une pile en deux points de la surface du corps du malade.

Supposons que les deux points d'application soient A et B. Le courant peut aller de A à B directement en suivant la peau par le chemin A r_1 B. Mais il peut aller également

de A à B par le tissu sous-cutané A r_2 B, en traversant les muscles par le chemin A r_3 B, etc.

Le courant traversera donc le corps suivant toutes les lignes que nous pouvons imaginer entre les points A et B, et une partie de l'art du médecin électricien consiste à disposer les rhéophores de façon que, malgré cette infinie subdivision du courant électrique dans les tissus, l'énergie électrique se porte en quantité suffisante sur l'organe malade.

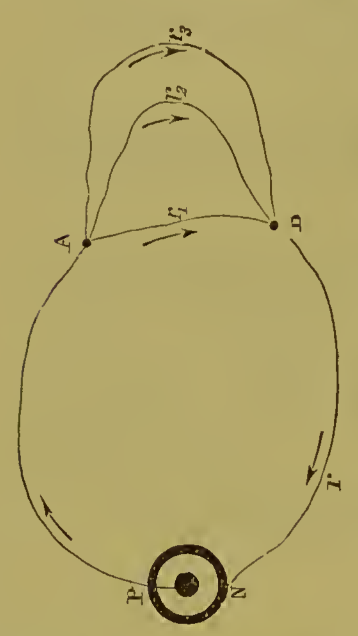


Fig. 65. — Le courant fourni par la pile PN se subdivise en A, suivant les conducteurs r_1 r_2, r_3.

Si le corps pouvait être rigoureusement assimilé à une éponge saturée d'un liquide homogène, tout se passerait à peu près comme si on appliquait les rhéophores sur une vessie conductrice remplie d'un liquide homogène.

L'électricité se partagerait encore suivant une infinité de directions et les intensités relatives de ces nombreux courants ne dépendraient que de la longueur du chemin parcouru, le liquide ayant partout la même constitution. Mais dans l'organisme il n'en est pas ainsi; chaque tissu, épiderme, moelle, nerf, etc., a sa résistance spécifique propre et on ne peut admettre que le courant, pouvant parcourir deux chemins égaux dans un muscle et dans un nerf qui ont des résistances spécifiques différentes, ait dans chacun de ces organes la même intensité.

134. — Lois de Kirchkorff. — La détermination des intensités relatives des courants dérivés s'obtient en appliquant les deux théorèmes suivants dus à Kirchkorff.

1° *Lorsqu'un courant principal se partage en plusieurs courants dérivés, l'intensité du courant principal est égale à la somme des intensités des courants dérivés.*

Ainsi un courant principal d'intensité I se partage en un point en trois courants dérivés d'intensité i_1 i_2 i_3 on a

$$I = i_1 + i_2 + i_3.$$

2° *Dans un circuit fermé, la somme des forces électromotrices est égale à la somme des produits obtenus en multipliant les intensités des divers courants par les résistances des conducteurs qu'ils traversent*[1].

Ainsi soit un courant fourni par une pile qui se partage aux points A et B suivant les trois directions Ar_1B — Ar_2B — Ar_3B.

L'intensité du courant fourni par la pile de force électromotrice E est I, la résistance de la pile et des rhéophores jusqu'en A et B est R ; i_1 i_2 i_3, sont les intensités des trois courants dérivés, les résistances des trois conducteurs sont r_1 r_2 r_3. En appliquant le théorème de Kirchkorff aux trois circuits PAr_1BN, PAr_2BN, PAr_3BN, nous obtenons trois équations :

$$IR + i_1 r_1 = E \qquad \text{d'où} \qquad i_1 = \frac{E - IR}{r_1}$$

$$IR + i_2 r_2 = E \qquad\qquad i_2 = \frac{E - IR}{r_2}$$

$$IR + i_3 r_3 = E \qquad\qquad i_3 = \frac{E - IR}{r_3}$$

ce qui montre que les intensités des trois courants dérivés sont en raison inverse de la résistance des conducteurs qu'ils ont à traverser.

135. — Applications médicales. — Cette propriété est très importante et peut dans une certaine mesure servir de guide au médecin.

Supposons qu'un courant de 15 milli-ampères puisse se

[1] Les forces électromotrices et les intensités sont affectées du signe + pour les courants marchant dans un sens dans le circuit, du signe — pour les courants marchant en sens contraire.

partager entre un nerf et un muscle et que la résistance du nerf soit deux fois plus grande que celle du muscle, il résulte du principe précédent que le courant qui traversera le nerf sera de 5 milli-ampères, alors que le courant qui passera dans le muscle aura une intensité égale à 10 milli-ampères.

De même si le médecin veut qu'un organe placé profondément soit atteint par un courant intense dérivé, il doit s'arranger de façon que cet organe soit sur la ligne de plus faible résistance qui réunit les rhéophores placés sur la peau. Ainsi, si on veut atteindre l'estomac avec un courant suffisamment énergique, il ne faut pas placer les deux rhéophores sur le creux épigastrique, les courants pouvant se rendre d'un rhéophore à l'autre par des chemins lui offrant moins de résistance que les voies qu'il doit suivre en traversant l'estomac.

On atteindra l'estomac beaucoup plus sûrement si un rhéophore est sur le creux épigastrique et l'autre sur la région dorsale de la colonne vertébrale.

Les circuits dérivés sont utilisés à l'hôpital national de Londres de la façon suivante. Le courant produit par une grande batterie centrale est amené dans les diverses salles où il peut être utilisé pour le traitement des rhumatismes et des paralytiques (Lewandowski).

Les pôles de la batterie communiquent avec deux tiges conductrices qui suivent les parois des murs. C'est une disposition semblable qui est adoptée pour la distribution de l'éclairage électrique par les lampes à incandescence. Avec des fils conducteurs on prend le courant sur ces tiges et on l'amène aux malades.

136. — Cas particulier. Deux courants dérivés. — Un cas particulier qui se présente souvent dans la pratique est celui où le courant principal se partage en deux courants dérivés. En conservant les notations précédentes, le calcul conduit aux valeurs suivantes pour I, i_1 et i_2.

$$i_1 = \frac{Er_2}{Rr_1 + Rr_2 + r_1 r_2}$$

$$i_2 = \frac{Er_1}{Rr_1 + Rr_2 + r_1 r_2}$$

$$I = i_1 + i_2 = \frac{E(r_1 + r_2)}{Rr_1 + Rr_2 + r_1 r_2}$$

Ces formules montrent que l'intensité de chaque courant dérivé est proportionnelle à la résistance de l'autre.

137. — Applications physiologiques. — On utilise cette propriété des courants dérivés dans certaines expériences de physiologie. Veut-on par exemple faire passer un courant dans l'intérieur d'une patte de grenouille (fig. 66), de façon que l'intensité varie d'une façon continue, on fait aboutir les rhéophores de la pile aux extrémités d'un rhéocorde B B′ constitué par un fil de maillechort tendu entre deux bornes B et B′. La patte est mise en communication avec une borne B et avec un curseur qui glisse le long du fil métallique. On fait ainsi varier la résistance du rhéocorde d'une façon continue.

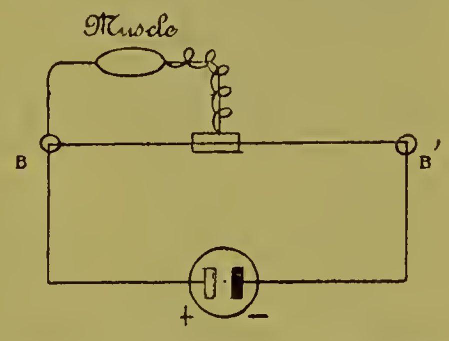


Fig. 66. — Disposition pour faire varier d'une façon continue l'intensité d'un courant dans un organe.

L'intensité du courant de dérivation qui traverse la patte, étant proportionnelle à cette résistance, varie ainsi d'une façon continue.

Burckhardt a vérifié ces formules quand il a démontré que le courant pouvait passer à travers les os du crâne d'un cadavre.

Il plaçait deux rhéophores sur les régions temporales par exemple, et il pratiquait des ouvertures sur le crâne par lesquelles il faisait pénétrer dans le cerveau des aiguilles recouvertes d'un vernis isolant sauf à leur pointe.

Ces aiguilles étant reliées à un galvanomètre, il obtint des courants de dérivation qui faisaient dévier l'aiguille.

Ces courants étaient d'autant plus faibles que les aiguilles s'éloignaient davantage de la ligne joignant directement les centres des électrodes.

De plus, si les aiguilles se trouvant sur cette ligne étaient très rapprochées l'une de l'autre, l'aiguille du galvanomètre était très faiblement déviée. On augmentait la déviation en les écartant.

Le courant se partageant entre le conducteur sur le trajet duquel se trouve le galvanomètre et les tissus conducteurs qui réunissent les aiguilles à travers le cerveau, l'intensité du courant dérivé dans le galvanomètre est, conformément au principe précédent, proportionnelle à la résistance de l'autre conducteur.

138. — Shunts. — Cette propriété des courants dérivés est également utilisée pour faire varier l'intensité du courant qui traverse un galvanomètre. On emploie pour cela des résistances qu'on appelle des Shunts (fig. 67). Elles sont logées dans des boîtes qui renferment généralement trois shunts dont les résistances sont le $\frac{1}{9}$, le $\frac{1}{99}$ et le $\frac{1}{999}$ de la résistance du galvanomètre.

Le shunt étant en dérivation sur les bornes du galvanomètre, les formules précédentes montrent que, suivant qu'on emploie les shunts au $\frac{1}{9}$, au $\frac{1}{99}$, au $\frac{1}{999}$, l'intensité du courant qui traverse le galvanomètre est le $\frac{1}{10}$, le $\frac{1}{100}$, le $\frac{1}{1000}$ de l'intensité du courant de la pile. Cette disposition est indispensable lorsqu'on se sert de galvanomètres de précision qui pourraient être altérés par des courants ayant une trop grande intensité.

139. — Applications médicales. — Dans les applications médicales les rhéostats peuvent être disposés de deux

façons différentes : 1° sur le circuit principal qui comprend le corps du malade ; 2° en dérivation.

Dans le 1[er] cas on diminue l'intensité du courant qui traverse le malade en augmentant la résistance du rhéostat.

Dans le 2[e] cas on obtient le même résultat en diminuant la résistance du rhéostat.

C'est une conséquence facile à déduire du principe des courants dérivés.

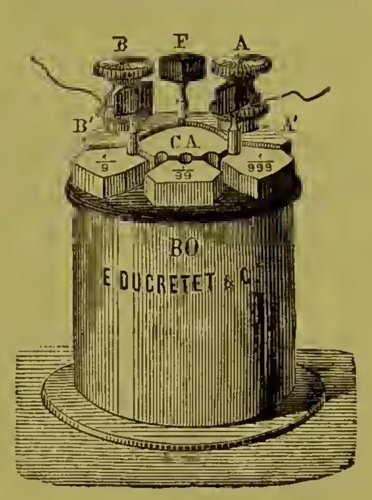


Fig. 67. — Boîte de shunts d'un galvanomètre construit par Ducretet. Les bornes du galvanomètre sont reliées aux bornes A et B, F est une cheville dite de court circuit. Lorsqu'elle est en place, les bornes sont reliées par un conducteur court sans résistance. Dans la figure, la cheville correspondant à la résistance $\frac{1}{99}$ étant enlevée, c'est cette résistance qui est en dérivation quand F est enlevé.

140. — Electrodes ou excitateurs. — On appelle ainsi toutes les dispositions qui permettent de faire pénétrer commodément le courant dans les tissus et de l'en faire sortir. Ce sont les terminaisons des rhéophores rattachés aux pôles de la pile.

141. — Densité du courant. — La densité du courant aux points où il pénètre et où il sort du corps, est exprimée par le quotient de son intensité évaluée en milliampères par la surface d'application de l'électrode évaluée en centimètres carrés.

Ainsi, si un courant de 15 milliampères pénètre dans le bras par une électrode dont la surface est 5 centimètres carrés, on dit que la densité du courant au niveau de cette électrode est $\frac{15}{5} = 3$.

142. — Applications médicales. — Si la densité aux points d'entrée et de sortie est facile à déterminer, l'intensité du courant étant donnée par le galvanomètre et la surface

de l'électrode étant connue, il n'en est pas ainsi quand il s'agit de la densité sur le trajet du courant entre les électrodes.

Cette densité ne peut être mesurée, et quand on parle d'une pareille densité, c'est que l'on admet certaines hypothèses simples, vraisemblables mais qui échappent à la vérification.

On peut admettre que le courant qui arrive par l'électrode se subdivise en une infinité de courants linéaires qui traversent la peau et se diffusent dans toutes les directions en suivant, pour rejoindre l'autre électrode, un trajet plus ou moins long.

Les électrodes étant, comme le montre la figure 68, placées l'une sur le sternum, l'autre sur la région dorsale, les courants linéaires vont tous d'une électrode à l'autre, mais, tandis que les uns suivent un trajet presque rectiligne, ne s'écartant presque pas de la ligne qui joint les centres des électrodes, d'autres suivent un trajet beaucoup plus long en s'écartant d'autant plus de cette ligne moyenne qu'ils sont plus périphériques.

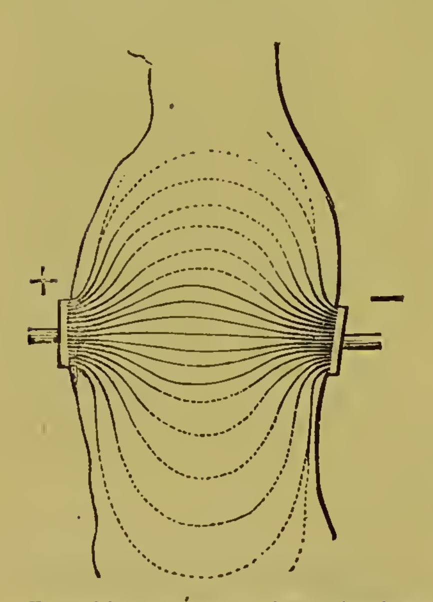


Fig. 68. — Électrodes placées sur le sternum et la région dorsale réunies

L'intensité de ces divers courants de diffusion est d'autant plus grande que leur longueur est plus faible.

Lorsque ces courants linéaires (Stromfäden) rencontrent un organe, l'intensité du courant au niveau de l'organe peut être considérée comme la somme des intensités des courants linéaires qui le traversent.

Si donc, on veut qu'un organe, qu'une partie malade soient impressionnés efficacement par le courant, il faut faire en sorte qu'ils se trouvent sur le trajet des courants

linéaires les plus serrés, qui sont aussi les plus intenses.

Si le même organe n'était atteint que par les courants périphériques, l'action serait plus faible ; les courants qui le rencontrent étant moins nombreux et moins intenses.

En électrothérapie et en électrodiagnostic, la position et la forme des électrodes doivent toujours être choisies de façon que le nerf, le muscle, l'organe, sur lesquels on veut agir se trouvent sur le trajet des courants de diffusion les plus courts et les plus serrés.

On appelle alors densité du courant sur une section déterminée d'un organe, le quotient de la somme des intensités des courants linéaires qui la traversent par sa surface.

La figure 69, empruntée à l'ouvrage d'Erb[1], montre la position à donner aux électrodes pour atteindre le plus efficacement par les courants de diffusion une lésion cérébrale.

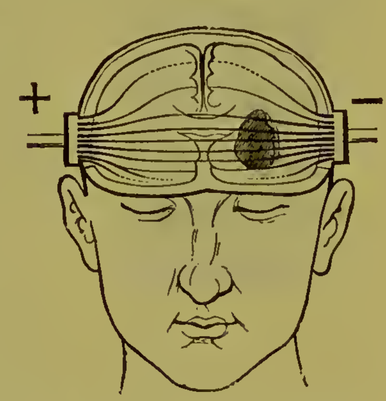


Fig. 69. — Électrodes disposées pour que le courant atteigne une lésion cérébrale.

Ces considérations sur les courants linéaires que nous avons cru devoir exposer pour faciliter la lecture des ouvrages d'électrothérapie allemande paraîtront peut-être assez vagues. Dans la plupart des cas, il suffira de se laisser guider, pour le choix de la forme et de la position des électrodes, par cette règle beaucoup plus simple :

La région à atteindre doit toujours se trouver sur le conducteur, que l'on peut imaginer s'étendant d'une électrode à l'autre et présentant le minimum de résistance.

Ainsi dans la figure 69 on voit que la lésion à atteindre se trouve dans le cylindre conducteur s'étendant directement d'une électrode à l'autre et ayant les électrodes pour bases.

[1] Erb ; *Traité d'électrothérapie.*

C'est ce cylindre conducteur qui présente le minimum de résistance.

143. — Emploi médical des couples voltaïques. — La pile de Volta, constituée par des éléments zinc, cuivre, eau acidulée (et quelquefois zinc, charbon, eau acidulée), n'a pas beaucoup d'applications médicales.

144. — Chaîne de Pulvermacher. — On a employé, sous le nom de chaîne galvanique de Pulvermacher (fig. 70), une association de couples voltaïques composés de fils de zinc et de cuivre disposés dans des rainures héliçoïdales creusées sur des cylindres de bois. Le zinc d'un élément est relié au cuivre de l'élément suivant. La pile entre en activité quand on la plonge dans l'eau acidulée.

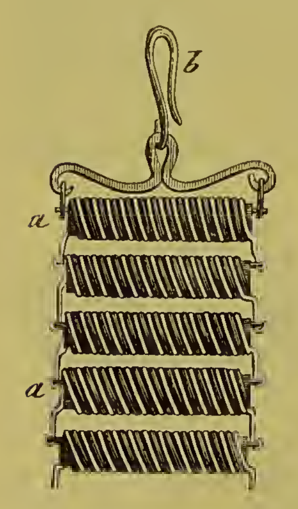


Fig. 70. — Chaîne de Pulvermacher.

145. — Pile de charge des électromètres. — La pile de Volta est utilisée dans les laboratoires pour charger l'électromètre de Thomson. Elle est alors constituée par des lames zinc cuivre plongeant dans de l'eau pure contenue dans des pots en terre bien isolés par une couche de paraffine. On empêche l'évaporation par une couche d'huile. La pile est montée en série. On la met en communication avec la terre par son milieu. Les deux pôles sont reliés par des fils aux secteurs de l'électromètre que l'on veut charger. Ils sont dans ces conditions à des potentiels égaux et de signe contraire.

146. — Causes d'affaiblissement des piles a un seul liquide. — La pile de Volta fournit un courant continu lorsque les pôles sont reliés l'un à l'autre, mais ce n'est pas un courant constant. Le courant s'affaiblit pour plusieurs raisons :

1° A mesure que la pile fonctionne il se produit du sulfate de zinc, de sorte que l'eau acidulée est remplacée par une solution de sulfate de zinc dont la résistance est plus grande. R augmentant, l'intensité $I = \frac{E}{R}$ diminue ;

2° La force électromotrice diminue parce que la solution acide s'affaiblit à mesure qu'elle se charge de sulfate de zinc. La force électromotrice dépendant de la nature des corps en contact, on comprend que par cette modification du liquide excitateur E puisse diminuer.

3° La cause d'affaiblissement la plus importante est la polarisation. On appelle ainsi la modification que subit une pile en activité lorsque les lames cuivre et zinc, zinc et charbon, plongées dans le liquide excitateur se recouvrent des produits de l'électrolyse. Or comme nous le verrons le courant qui traverse de l'eau acidulée ou une solution saline les décompose. L'hydrogène ou le métal se portent toujours sur la lame par laquelle le courant sort du liquide décomposé, tandis que l'oxygène dans le cas de l'eau, les autres éléments du sel dans le cas d'une dissolution saline, se portent sur la deuxième lame.

Ainsi le courant traversant l'élément voltaïque, l'eau acidulée est décomposée, l'oxygène se porte sur le zinc, avec lequel il s'unit pour donner de l'oxyde de zinc qui forme du sulfate de zinc avec l'eau acidulée. L'hydrogène se porte sur la lame de cuivre qu'il recouvre.

Le sulfate de zinc en solution est aussi décomposé en acide sulfurique et oxygène qui s'unissent avec la lame de zinc et en zinc qui se porte sur le cuivre.

Mais, et c'est là un fait général, la présence des produits de la décomposition sur les électrodes (c'est-à-dire les lames par lesquelles le courant pénètre dans le couple à décomposer et en sort) donne naissance à une force électromotrice de sens contraire à la force électromotrice du courant et qu'on appelle force électromotrice de polarisation.

De plus, l'hydrogène qui recouvre la lame de cuivre aug-

mente la résistance. C'est là un obstacle nouveau au passage du courant ; de sorte que, si nous désignons par e la force électromotrice de polarisation, par R' la nouvelle résistance, l'intensité I' du courant devient :

$$I' = \frac{E - e}{R'}. \text{ Elle était d'abord } I = \frac{E}{R}$$

$$E - e < E \qquad R' > R.$$

Pour ces deux raisons, l'intensité du courant est diminuée.

L'énergie du courant était EI, elle n'est plus que $(E-e)\,I'$. L'énergie a donc diminué, et cette diminution d'énergie doit être considérée comme équivalente à l'énergie consommée dans la décomposition de l'eau et dans la décomposition du sulfate de zinc.

Si donc on veut obtenir des courants constants il faut supprimer les causes d'affaiblissement que nous avons signalées et surtout le dépôt d'hydrogène sur le cuivre ou le charbon qui constitue la cause d'affaiblissement la plus importante.

147. — Zinc amalgamé. — Sturgeon a apporté un heureux perfectionnement à la pile de Volta en substituant au zinc du commerce du zinc amalgamé, c'est-à-dire combiné à sa surface avec du mercure.

Le zinc pur n'est attaqué que lorsque le circuit est fermé, mais le zinc du commerce est attaqué même à circuit ouvert. C'est que le zinc du commerce est impur et renferme des métaux étrangers, du plomb par exemple. Ce plomb forme avec le zinc un élément qui est toujours fermé par le liquide conducteur, de sorte que le métal est toujours attaqué. Sturgeon a remarqué qu'on obtient avec le zinc amalgamé le même résultat qu'avec le zinc pur. De plus, la force électromotrice de l'élément est plus grande avec le zinc amalgamé qu'avec le zinc ordinaire.

Dans les piles médicales le zinc est toujours amalgamé.

Cette amalgamation doit se renouveler de temps en temps, si la pile ne renferme pas un sel de mercure, qui, par suite des réactions qui se produisent dans la pile, abandonne du mercure qui maintient toujours le zinc amalgamé.

148. — Amalgamation du zinc. — Il suffit pour cela de décaper le zinc dans l'eau fortement acidulée, de le laver, puis d'étendre sur lui avec une brosse le mercure, qui se fixe sur le zinc. Les zincs ainsi amalgamés sont placés sur une feuille de papier sur laquelle se dépose l'excès de mercure.

On peut aussi opérer plus simplement ; pour cela on fait dissoudre à chaud :

200 gram. de mercure dans : acide chlorhydrique. 750.
et acide azotique. . . . 250.

La solution étant faite, on ajoute 1000 gram. d'acide chlorhydrique.

Le zinc le plus sale est nettoyé et amalgamé par une immersion dans le liquide précédent.

CHAPITRE III.

PILES MÉDICALES.

---

149. — Généralités. — Les piles médicales sont transportables, ou bien sont installées à demeure.

Les secondes peuvent être composées d'éléments à grande surface, par conséquent de faible résistance. Les premières sont logées dans des boîtes de petites dimensions. La pile comprenant un grand nombre d'éléments, il faut nécessairement leur donner une faible surface ; ils ont par suite une grande résistance. L'inconvénient n'est pas grand au point de vue de l'intensité, parce que la résistance du corps humain qui intervient comme résistance extérieure est considérable.

Supposons en effet qu'on veuille obtenir une intensité de 20 milliampères avec deux modèles d'éléments d'une force électromotrice de 2 volts, les premiers ayant une résistance égale à 10 ohms, les autres une résistance de 5 ohms. Supposons la résistance du corps égale à 4000 ohms. En appliquant la formule :

$$I = \frac{nE}{nR + r}$$

on trouve dans le 1er cas $0,020 = \frac{n \times 2}{n \times 10 + 4000}$

dans le 2e cas $0,020 = \frac{n \times 2}{n' \times 5 + 4000}$

En résolvant ces équations on trouve que dans le premier cas il faut prendre 45 éléments et dans le deuxième 43, il faut donc à peu près le même nombre d'éléments dans les deux cas.

Si les petits éléments associés en série fournissent des

courants ayant à peu près la même intensité que les grands éléments lorsqu'ils sont utilisés pour les applications médicales, ils sont si rapidement hors de service, lorsqu'on les emploie d'une façon courante, qu'on doit absolument les rejeter quand il s'agit d'une installation de cabinet.

150. — Substances dépolarisantes. — Dans toutes les piles utilisées aujourd'hui on empêche le dépôt de l'hydrogène sur le métal ou sur le charbon positif en l'arrêtant au moyen d'une substance dépolarisante solide, telle que le chlorure d'argent, le bioxyde de manganèse, ou liquide telle qu'une solution de sulfate de cuivre, de sulfate mercurique, de bichromate de potasse. Dans tous les cas le dépolarisant interposé entre le zinc et le charbon est une substance que l'hydrogène réduit facilement. Dans les piles au chlorure d'argent, l'hydrogène se combine avec le chlore, et l'argent se précipite.

Dans les piles au bioxyde de manganèse, l'hydrogène ramène le bioxyde de manganèse à l'état d'oxyde de manganèse inférieur. De même en traversant les solutions de sulfate de mercure, de sulfate de cuivre, de bichromate de potasse, l'hydrogène réduit les sulfates en mettant le cuivre et le mercure en liberté, il réduit l'acide chromique du bichromate à l'état de sesquioxyde de chrome.

151. — Pôle positif. Pôle négatif. — Dans toutes les piles médicales le zinc amalgamé est le métal attaqué, c'est la lame négative.

La lame positive est en argent dans les piles de chlorure d'argent, en cuivre dans les piles de Daniell, en charbon dans d'autres. C'est du charbon de cornue ou du charbon obtenu artificiellement par les procédés qui servent à obtenir aujourd'hui les charbons des foyers électriques.

152. — Liquide excitateur. — Le liquide excitateur, c'est-à-dire le liquide qui agit sur le zinc, est une solution

d'acide sulfurique au $\frac{1}{10}$ dans les piles de Daniell, au bichromate, Marié Davy. C'est une solution de chlorhydrate d'ammoniaque, de chlorure de zinc dans les piles Leclanché ou au chlorure d'argent.

Dans les piles au bichromate sans vase poreux ou avec du sulfate de mercure, la solution d'acide sulfurique est mêlée à celle du dépolarisant. Les deux formules suivantes donnent d'assez bons résultats :

Acide sulfurique................	6
Eau distillée.....................	100
Sulfate de mercure.............	4

—

Bichromate de potasse......... .	8
Eau distillée.....................	100
Acide sulfurique............. ..	10
Sulfate de mercure.............	1

153. — Installations médicales a demeure. — Dans les installations médicales à demeure on peut employer avec avantage soit l'élément de Daniell modifié par Callaud soit l'élément de Marie Davy, ou bien les divers modèles d'élément Leclanché.

154. — Élément de Callaud. — L'élément Callaud (fig. 71) se compose d'un vase en verre contenant deux solutions, l'une inférieure de sulfate de cuivre concentrée, l'autre supérieure d'eau acidulée qui souvent est remplacée par de l'eau pure. Les deux solutions sont maintenues séparées par la différence de leurs densités. Dans la solution de sulfate de cuivre plonge une lame ou une spirale de cuivre reliée au zinc de l'élément suivant par un fil de cuivre isolé, au moyen de gutta-percha ou

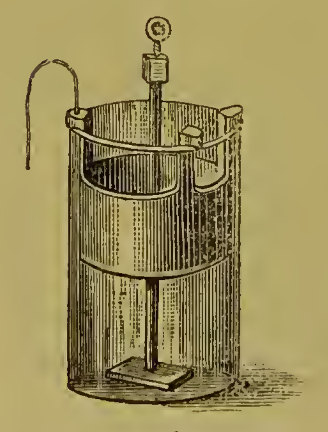


Fig. 71. — Élément de Callaud.

d'un tube de verre. Un cylindre de zinc amalgamé est plongé dans le liquide supérieur, où il est maintenu par diverses dispositions.

Cette pile est tout à fait recommandable, pour sa simplicité, pour sa constance en même temps que pour son bon marché.

Le zinc et le cuivre étant en place, on remplit le vase d'eau légèrement acidulée (2 parties d'acide sulfurique pour 100 d'eau). On introduit alors quelques cristaux de sulfate de cuivre. La dissolution se produit progressivement et la liqueur cuivrique se sépare nettement de la solution acide, qui reste au-dessus. Quand la coloration bleue s'affaiblit, on ajoute de nouveaux cristaux. On doit renouveler la liqueur acide en été tous les huit jours, en hiver tous les quinze jours.

Stein, qui se servait d'une pile de 50 éléments Callaud 2 ou 3 heures par jour, dit que son entretien ne coûte pas plus de 25 francs par an. Les éléments servent pendant deux ans.

Le prix d'un élément est de 2 fr. 50 à 3 fr.

155. — Élément Marié-Davy. — L'élément de Marié-Davy au bisulfate de mercure, qui est une modification de la pile Bunsen, comprend un vase en grès et un vase en terre poreuse. Le premier renferme un cylindre de zinc avec une solution d'acide sulfurique. Le deuxième contient un cylindre de charbon entouré d'une pâte de bisulfate de mercure.

156. — Élément Leclanché. — Sous sa première forme (fig. 72) il comprenait un vase en verre L renfermant un bâton de zinc amalgamé Z et une solution de chlorhydrate d'ammoniaque B. Un vase en terre poreuse P plongeait dans cette solution. Il renfermait du bioxyde de manganèse *mmm* en aiguilles et du charbon concassé disposés par couches successives autour d'un morceau de charbon de cornue C.

Depuis quelques années on emploie un modèle qui offre au courant une résistance plus faible, qu'on appelle la pile à aggloméré (fig. 73).

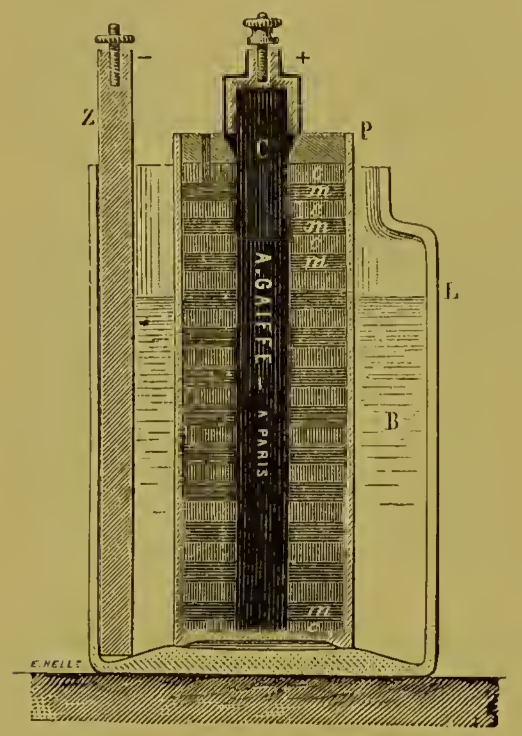


Fig. 72. — Élément Leclanché. Ancien modèle.

Cet aggloméré est un mélange de bioxyde de manganèse, de charbon pulvérisé et de gomme laque qu'on a porté à une température de 100° et soumis à une pression de 300 atmosphères.

On lui donne la forme de plaques qu'on dispose autour d'une lame de charbon de cornue qui constitue le pôle positif de la pile. Le bâton de zinc qui forme le pôle négatif est séparé de l'aggloméré par un morceau de porcelaine. Des bandes de caoutchouc rattachent les unes aux autres toutes les parties solides de l'élément qui peuvent s'enlever en bloc.

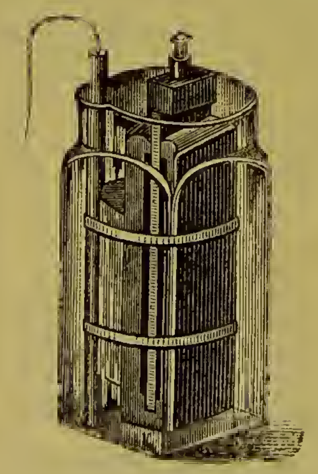


Fig. 73. — Élément Leclanché à aggloméré.

Les réactions qui se produisent dans l'élément Leclanché sont assez mal connues. Il se forme souvent sur les zincs des cristaux d'oxychlorure de zinc, de chlorure double de zinc et d'ammonium.

Ils se produisent moins si on emploie du chlorhydrate d'ammoniaque bien pur et si le zinc est bien amalgamé. Aussi dans certains modèles la lame de zinc plonge dans un godet contenant du mercure qui maintient l'amalgamation.

La pile Leclanché se polarise très vite en circuit fermé. Néanmoins elle convient à la plupart des applications médicales.

Dans la pile Leclanché et dans beaucoup d'autres, on voit souvent se produire au-dessus du liquide des efflorescences salines qui grimpent le long des parois. On s'oppose à leur production en recouvrant la partie supérieure du vase d'un enduit à la paraffine ou à la gomme laque.

157. — Élément Leclanché modifié par Gaiffe. — Gaiffe a modifié la pile Leclanché en remplaçant le chlorhydrate d'ammoniaque par du chlorure de zinc (fig. 74).

L'aggloméré est remplacé par un cylindre de charbon dans lequel on place par couches superposées du bioxyde de manganèse et du charbon en grains.

Le vase V est fermé à la partie supérieure par un couvercle qui laisse passer le zinc Z et le cylindre de charbon C. Le couvercle rend l'évaporation plus difficile. Le chlorure de zinc qui est hygrométrique se combine à la vapeur d'eau atmosphérique, ce qui compense les légères pertes de liquide produites par évaporation.

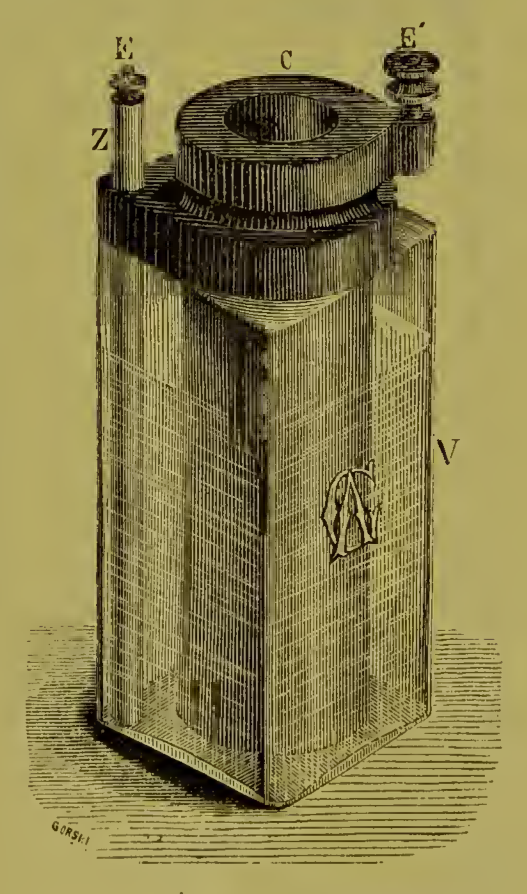


Fig. 74. — Élément Leclanché modifié par Gaiffe.

158. — Piles transportables. — Elles doivent être construites de façon que le liquide qu'elles contiennent ne puisse pas passer, quand on transporte l'appareil, par dessus les bords

des vases. Dans certaines piles transportables, le liquide actif est immobilisé ; dans la plupart des autres les vases sont fermés hermétiquement.

159. — Pile Leclanché transportable. — On construit des piles Leclanché fermées hermétiquement par un couvercle en ébonite auquel sont suspendus le cylindre de zinc et l'aggloméré.

160. — Pile au chlorure d'argent de Warren de la Rue. — Un bon modèle de pile transportable est la pile au chlorure d'argent Warren de la Rue modifiée par Gaiffe.

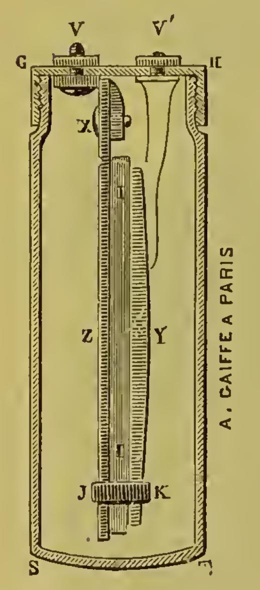


Fig. 75 — Couple de Gaiffe au chlorure d'argent transportable.

L'élément est constitué par un vase en ébonite contenant une solution de chlorhydrate d'ammoniaque ou de chlorure de zinc. Au couvercle, également en ébonite, sont fixées une lame de zinc pur Z et une lame d'argent Y entourée de chlorure d'argent fondu. Ces lames métalliques communiquent avec des bornes auxquelles on fixe les rhéophores.

Dans un autre modèle de Gaiffe (fig. 75) l'élément ne renferme pas de liquide. La lame d'argent recouverte de chlorure d'argent Y est séparée de la lame de zinc Z par des feuilles de papier à cigarettes I qui ont été imprégnées d'une solution de chlorure de zinc. Des bandes de caoutchouc immobilisent toutes les parties de l'élément qui sont contenues dans un cylindre creux en ébonite ST, fermé par un couvercle GH qui porte des bornes VV' en communication avec les pôles de l'élément.

161. — Élément transportable de Trouvé. — Trouvé construit des éléments transportables (fig. 76) dans lesquels

on trouve les diverses parties des couples au sulfate de mercure sauf le vase en terre poreuse.

L'enveloppe cylindrique (fig. 74) en ébonite est fermée hermétiquement par un couvercle. Contre la paroi supérieure de l'enveloppe on a fixé un mélange de bioxyde de manganèse et de charbon. Le zinc fixé au couvercle n'occupe qu'une partie de la hauteur de l'élément et le liquide excitateur est en quantité telle que dans la position de la figure le zinc n'est pas attaqué. La réaction se produit et l'élément fonctionne quand on le retourne.

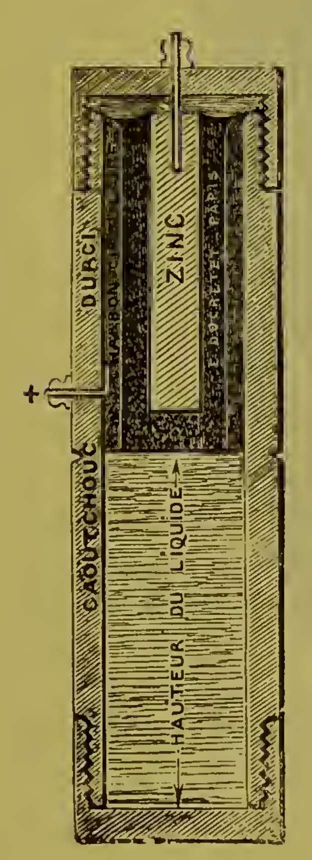


Fig. 76. — Elément de Trouvé construit par Ducretet.

162. — Élément a liquide immobilisé. — On emploie depuis quelques années des éléments dans lesquels les liquides actifs sont immobilisés par des substances qui forment avec eux des pâtes plus ou moins épaisses, plâtre, agar-agar, cofferdam, etc.

Ces éléments peuvent être transportés sans inconvénient.

La maison Blänsdorf, de Francfort, construit des batteries (fig. 77) dont les éléments renferment un mélange demi-solide, de gélatine, glycérine, acide salicylique et de chlorhydrate d'ammoniaque.

Toutes les autres parties de l'élément sont identiques à celles de l'élément Leclanché.

163. — Eléments qui servent pour les bobines d'induction ; élément Grenet ou pile bouteille. — On donne ordinairement aux vases des piles au bichromate ou au sulfate de mercure qui animent les bobines d'induction la forme d'une bouteille (fig. 78). Elles sont formées par

une plaque en ébonite à laquelle sont fixées deux char-

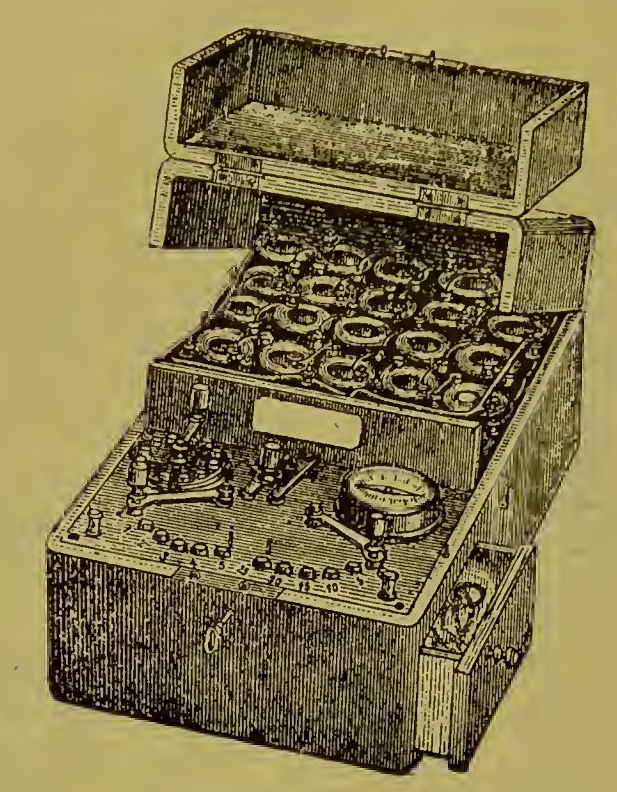


Fig. 77. — Batterie à liquide immobilisé de Blänsdorf (de Francfort). 20 éléments avec accessoires : 125 fr.

bons qui plongent dans un liquide excitateur dont nous avons donné plus haut la formule. Ils sont reliés métalliquement à une borne B. La plaque de zinc amalgamé Z est portée par une tige métallique T qui passe à frottement dans un cylindre. Au moyen d'une vis de pression on peut la maintenir à diverses hauteurs. On ne la fait plonger dans le liquide que lorsqu'on veut se servir de la pile. Le zinc est relié métalliquement à la borne B′.

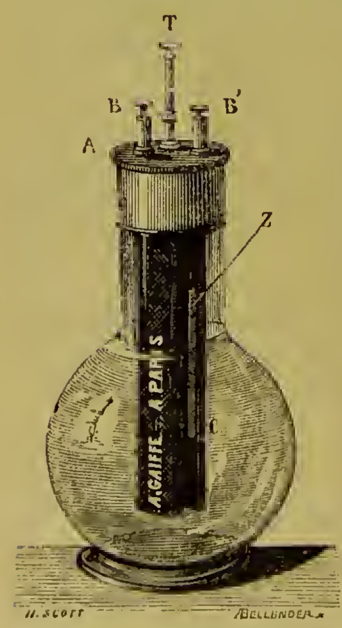


Fig. 78. — Élément au bichromate. Pile-bouteille.

164. — Élément gaiffe. — Gaiffe construit pour les bobines

d'induction des éléments (fig. 79) constitués par des vases plats dont le fond est formé par une plaque de charbon P.

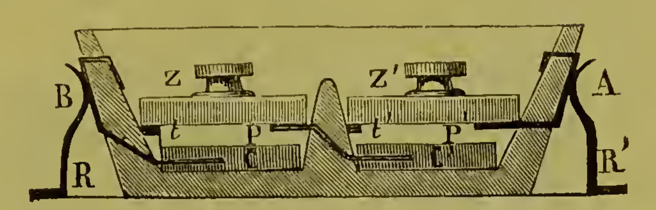


Fig. 79. — Élément Gaiffe pour les bobines d'induction.

Au-dessus est disposée parallèlement une lame de zinc Z soutenue par des bords saillants et qu'on peut soulever avec un bouton. Avant de placer le zinc on met sur le charbon une pincée de sulfate de mercure et quelques gouttes d'eau. On associe deux éléments semblables en tension. La pile montée fonctionne pendant plus d'une heure. On rejette le liquide lorsque la séance de faradisation est terminée.

165. — Batteries a treuil — Si on n'a besoin que d'un petit nombre d'éléments, les batteries à treuil conviennent parfaitement. Elles sont constituées (fig. 80) par des zincs

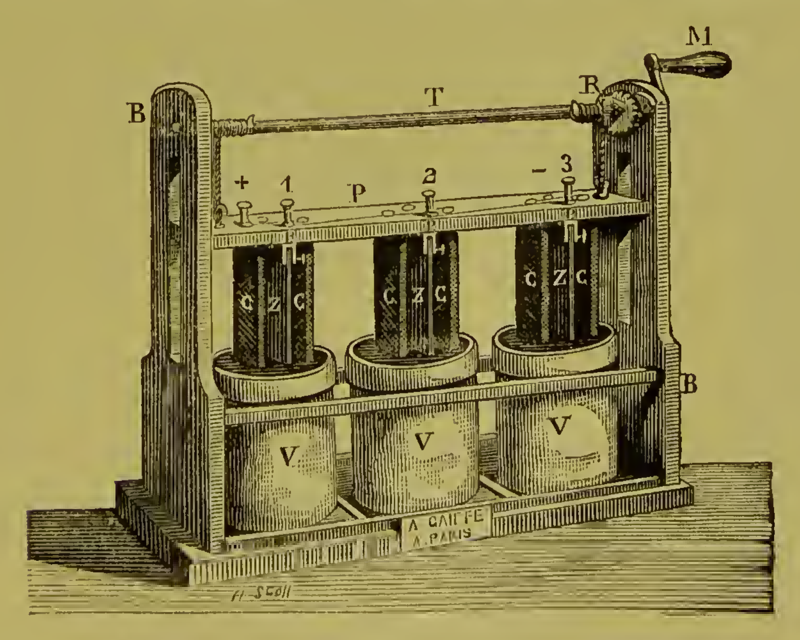


Fig. 80. — Pile à treuil construite par Gaiffe.

et des charbons rattachés à une barre de bois qu'on déplace

à l'aide d'un treuil mu par une manivelle. Chaque couple comprend un zinc, deux charbons réunis métalliquement et un vase en verre ou en grès contenant les liquides excitateurs précédemment indiqués.

Ces piles sont particulièrement utilisées pour actionner les dynamos qui communiquent un mouvement de rotation aux machines électrostatiques, quand on n'a pas à sa disposition un moteur à gaz, à eau ou à air.

On les utilise également pour obtenir l'incandescence des lampes destinées à éclairer certaines cavités naturelles.

166. — Piles Chardin pour la galvano-caustique. — Pour la galvanocaustique on a besoin, comme nous l'avons dit déjà, d'éléments à grande surface. Chardin construit pour cet usage des éléments constitués par de larges cuvettes dans lesquelles pénètrent les zincs et les charbons. Chaque élément comprend 4 lames de zinc et 5 plaques de charbon à grande surface.

Dans certains modèles ce sont les zincs et les charbons qui sont mobiles, dans d'autres ce sont les vases contenant le liquide excitateur qui se déplacent.

Enfin dans certaines piles les diverses parties de l'élément sont fixes. Le liquide est logé dans une auge en communication avec les vases dans lesquels pénètrent les zincs et les charbons. On injecte de l'air dans cette auge au moyen d'une poire en caoutchouc. Sa pression fait monter le liquide dans les vases lorsque la pile doit l'actionner.

La pile Chardin (fig. 81) est constituée par deux ou plusieurs couples ainsi disposés et qui sont associés en série. Pour la galvanocaustique on emploie avec avantage, comme liquide excitateur, une solution d'acide chromique qui donne une force électromotrice plus grande que les solutions au bichromate.

Il importe aussi de remarquer qu'avec les batteries à galvano-cautère on ne peut pas augmenter l'intensité si

elle est trop faible en augmentant le nombre des éléments. Il faut donc fréquemment renouveler le liquide.

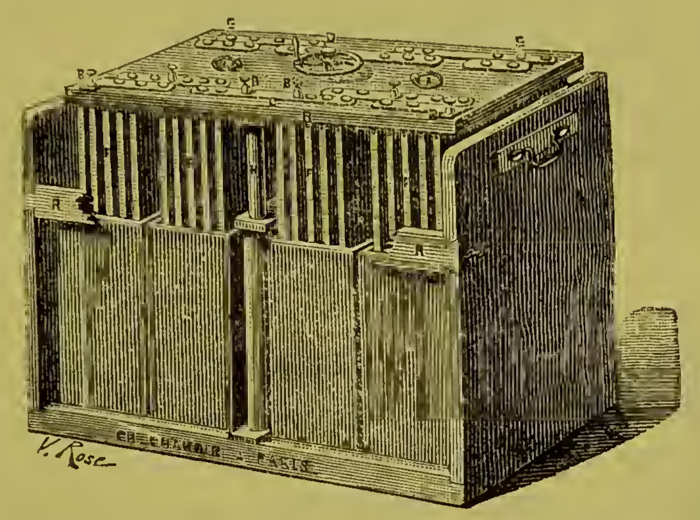


Fig. 81. — Pile de Chardin pour la galvanocaustique.

Lorsqu'il a servi quelque temps, sa composition n'étant plus la même, la force électromotrice diminue en même temps que la résistance augmente. Pour ces deux raisons l'intensité du courant diminue. Les sels dont s'imprègne les charbons augmentant sa résistance, il faut aussi de temps en temps les plonger dans de l'eau qui les débarrasse de ces sels.

CHAPITRE IV.

ACCESSOIRES DES PILES MÉDICALES.

ÉLECTRODES. — INTERRUPTEURS. — COMMUTATEURS.

---

167. — Conducteurs ou rhéophores. — Aux bornes de la pile sont fixés des fils conducteurs ou rhéophores qui établissent la communication soit avec les excitateurs dans les applications thérapeutiques, soit avec le galvano-cautère ou les lampes Edison quand on veut transformer l'énergie libre dans la pile en énergie calorifique ou en énergie lumineuse. Ces conducteurs sont constitués par un ou plusieurs fils de cuivre recouverts de soie ou de gutta percha.

Les fils métalliques tordus qui forment les conducteurs médicaux sont soudés à deux fiches qu'on se contente généralement d'enfoncer dans des trous creusés dans des pièces métalliques qui font partie des électrodes. Ce mode de liaison est défectueux. Le rhéophore peut s'échapper trop facilement. Il peut ainsi s'établir des ruptures brusques du courant qui, comme nous le verrons, peuvent être dangereuses. Il convient de maintenir les rhéophores au moyen de vis de pression.

Souvent on recouvre les conducteurs avec de la soie dont la couleur sert à distinguer le conducteur positif du conducteur négatif.

168. — Électrodes ou excitateurs. — On désigne ainsi les accessoires d'une pile médicale qui permettent d'établir commodément la communication entre les rhéophores reliés aux pôles de la pile et le corps humain.

On appelle Cathode l'électrode en communication avec le pôle négatif et Anode l'électrode reliée au pôle positif.

Dans les applications on distingue aussi l'électrode active, différente, qui est placée sur les points ou dans le voisinage des points sur lesquels on veut agir plus spécialement, et l électrode inactive ou indifférente qui est appliquée sur une région plus ou moins éloignée de la première.

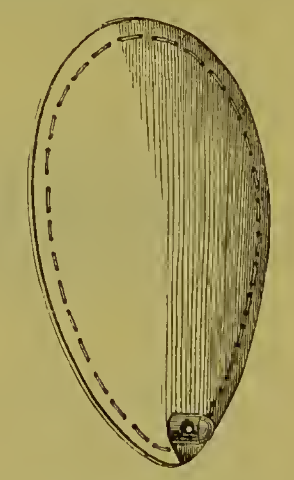
Les électrodes les plus utilisées comprennent : 1° un manche isolant en bois (fig. 82), en ébonite, en celluloïd qu'on tient à la main et qui porte une monture métallique I dans laquelle est creusé le trou qui loge l'extrémité du rhéophore. Cette monture porte une vis V dont l'écrou fait partie de l'électrode proprement dite ; 2° l'électrode proprement dite très variable de forme suivant les applications.



Fig. 82. — Porte électrode de Gaiffe

L'électrode la plus fréquemment utilisée comprend un bouton en charbon bon conducteur fixé sur l'écrou qui se visse sur le porte-électrode. Le charbon est recouvert d'une peau de chamois. On peut aussi le recouvrir d amadou, d'éponge ou de mousse.

Si le malade est atteint d'une affection cutanée, on remplace avec avantage la peau de chamois par un morceau de toile qu'on fixe sur l'électrode et qu'on jette, la séance terminée.


Fig. 83. — Électrode ovale pour l'électrisation de la tête.

Ces électrodes doivent toujours être bien mouillées avant d'être appliquées sur la peau. Le plus ordinairement on les plonge dans l'eau froide quelques minutes avant de s'en servir.

Quelques auteurs conseillent l'eau chaude qui imprègne plus facilement l'épiderme. Elle est meilleure conductrice que l'eau froide, puisque la conductibilité des liquides s'élève avec la température, et le

contact de l'électrode est moins désagréable aux malades.

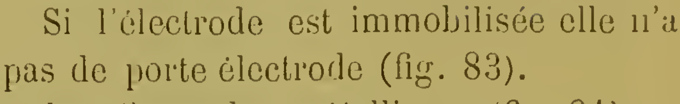


Fig. 84. — Électrode métallique olivaire.

Si l'électrode est immobilisée elle n'a pas de porte électrode (fig. 83).

Les électrodes métalliques (fig. 84) ne sont utilisées que dans des cas spéciaux. Leur emploi est douloureux. Les produits de l'électrolyse des liquides qui imprègnent les tissus peuvent alors beaucoup plus facilement produire les eschares qu'on doit généralement éviter.

Cependant pour certaines applications on emploie un bouton métallique, des aiguilles dites à acupuncture, etc.

Le D[r] Boudet a utilisé des électrodes métalliques dites concentriques (fig. 85) qui sont mises en communication avec

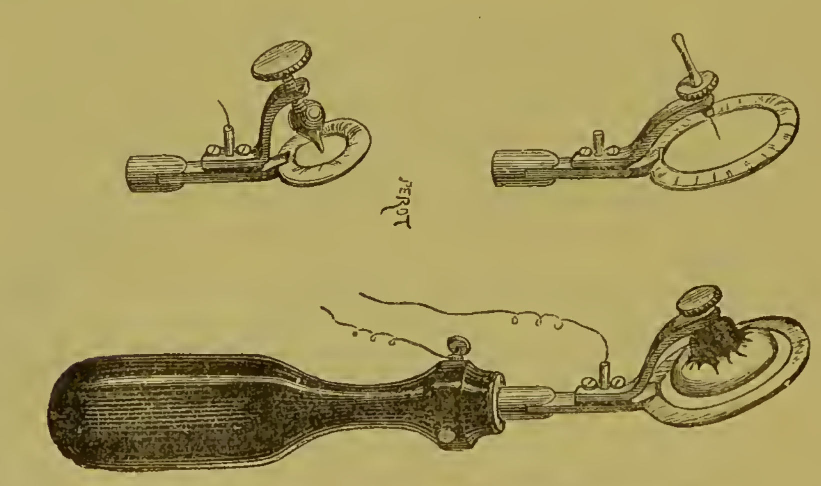


Fig. 85. — Électrodes concentriques de Boudet.

les deux pôles. L'une de ces électrodes qui occupe la partie centrale peut être une aiguille à acupuncture, un disque métallique ou une électrode ordinaire.

La deuxième électrode, qui entoure la première, est un anneau métallique. Au moyen de ces électrodes on peut faire passer un courant de 15, 25 et même de 50 milliampères sur le visage, dans le voisinage de l'œil, de l'oreille et du cerveau sans avoir à craindre les bourdonne-

ments, les sensations lumineuses, les vertiges et même les syncopes qui se produisent si facilement quand les courants se diffusent dans l'oreille, dans l'œil, dans le cerveau.

La surface des électrodes doit être connue en centimètres carrés si on veut apprécier la densité du courant à leur niveau.

On emploie des électrodes dont la surface peut varier de 10 à 400 centimèt. carrés. Les électrodes arrondies ont une surface qui varie de 10 à 50 centimèt. carrés. Les électrodes à plus grande surface sont rectangulaires.

Pour rendre les observations comparables, on a conseillé l'emploi d'électrodes dites normales dont la surface est bien déterminée.

L'électrode normale de Erb a une surface de 10 centimèt. carrés. Celle qu'emploient Eulenburg et Stintzing a une surface de 3 centimèt. carrés.

Les électrodes actives ou différentes ont toujours une faible surface.

Les électrodes indifférentes sont, au contraire, à très large surface. Dans certains cas, ce sont des rouleaux cylindriques (fig. 86) dont la surface est recouverte de flanelle qu'on promène sur une région étendue du corps.

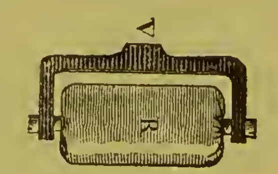


Fig. 86. — Électrode à rouleaux.

Apostoli dans les applications du courant à l'électrolyse emploie comme électrode indifférente une large plaque de terre glaise bien mouillée qu'on place sur l'abdomen des malades. La terre glaise est recouverte d'une plaque de plomb qui est reliée à la pile.

Les manches de certaines électrodes présentent des dispositions spéciales.

Quelques-uns sont munis d'un interrupteur (fig. 82 P). D'autres renferment un rhéostat.

Les constructeurs ont imaginé toutes sortes de dispositions pour rendre l'emploi des électrodes plus com-

mode et les maintenir solidement sur la tête, la nuque (fig. 87).

L'électrisation des yeux, de l'oreille, des cavités internes, utérus, estomac, larynx, exige l'emploi d'électrodes spéciales que nous ne pouvons pas nous attarder à décrire.

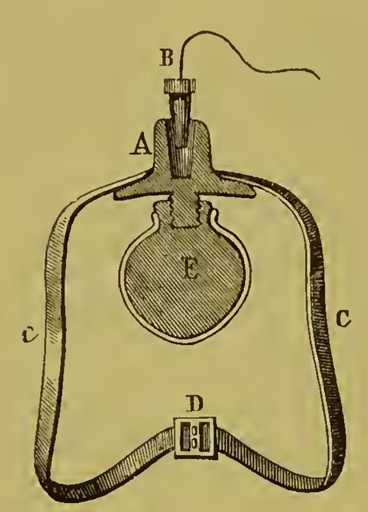


Fig. 87. — Électrode se fixant sur la nuque. E tampon. A cylindre creux qui loge la fiche B. C courroie avec boucle D.

On peut souvent remplacer l'électrode indifférente par une cuvette contenant de l'eau dans laquelle le malade met la main ou le pied. On relie l'eau à l'un des pôles de la pile au moyen du rhéophore.

Le congrès des électriciens de 1881 a recommandé aux médecins l'emploi exclusif d'électrodes dites impolarisables

On appelle ainsi d'une façon générale des électrodes dans lesquelles le métal qui sert d'électrode plonge dans la solution d'un de ses sels ou est entouré d'une de ses combinaisons à l'état solide.

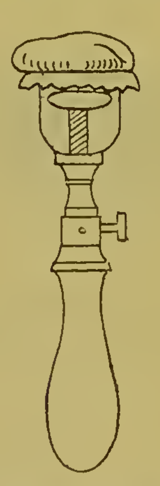


Fig. 88. — Électrode impolarisable de Reiniger.

L'expérience a montré qu'avec de pareilles électrodes on évite le dépôt des produits de l'électrolyse sur la peau et par conséquent les phénomènes douloureux et les brulûres qu'ils provoquent.

L'une de ces électrodes construite par Reiniger (fig. 88) comprend une poignée munie d'une monture métallique sur laquelle on fixe le rhéophore, une cloche en verre qui se visse sur la monture métallique et un bouton de zinc fixé également sur la partie métallique de l'électrode.

Cette cloche contient une solution de sulfate de zinc et elle est fermée par un disque en terre glaise ou en papier mâché maintenu entre deux morceaux

de toile. On remplit la cloche soit en enlevant le bouchon, soit en la dévissant.

Ces électrodes doivent toujours être employées quand on a recours aux courants de haute intensité.

Mais nous verrons que d'une façon générale on n'utilise que des courants de faible intensité. Aussi l'emploi de ces électrodes, malgré l'autorité du congrès de 1881, ne s'est pas généralisé.

169. — Électrodes employées en physiologie. — Dans les recherches d'électrophysiologie on ne peut pas employer les électrodes ordinaires.

On ne peut pas mettre le tissu organique en communication soit avec les électromètres, soit avec les galvanomètres par des lames ou des fils métalliques qui par leur contact avec les liquides physiologiques donnent naissance à des différences de potentiel. On emploie des électrodes impolarisables.

170. — Électrodes de Dubois Reymond. — Dubois Reymond s'est servi dans ses expériences d'électrodes ayant des formes très différentes, mais toutes construites d'après les mêmes principes.

L'électrode touche le tissu vivant par l'intermédiaire d'un corps poreux, papier à filtre, argile, terre glaise, imprégné d'une solution de chlorure de sodium à 6 °/₀.

L'électrode proprement dite est constituée par une solution de sulfate de zinc en rapport avec le corps poreux et par une lame de zinc pur ou amalgamé qu'on met en relation avec l'instrument de mesure.

Dans certaines applications, les électrodes (fig. 89) sont des tubes de verre T fermés en E E par un bouchon de terre glaise terminé en pointe qu'on met en rapport avec le tissu vivant. Dans le tube est la solution de sulfate de zinc, dans laquelle plonge une tige de zinc amalgamée à

sa partie inférieure, vernie à sa partie supérieure qui est reliée à l'appareil de mesure.

Dans d'autres expériences, Dubois Reymond a employé

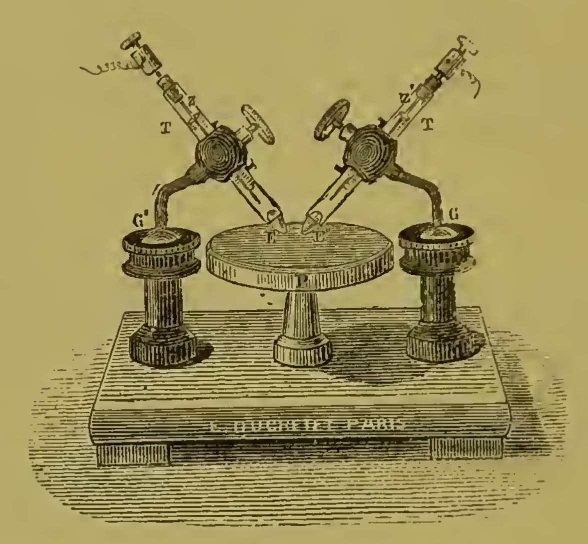


Fig 89. — Électrode impolarisable de Dubois Reymond construite par Ducretet TT tubes fermés par des bouchons de terre glaise. GG supports. P tablette soutenant le tissu à étudier.

des vases de zinc (fig. 90) amalgamé à l'intérieur qui contenaient une solution concentrée de sulfate de zinc. Un fil mé-

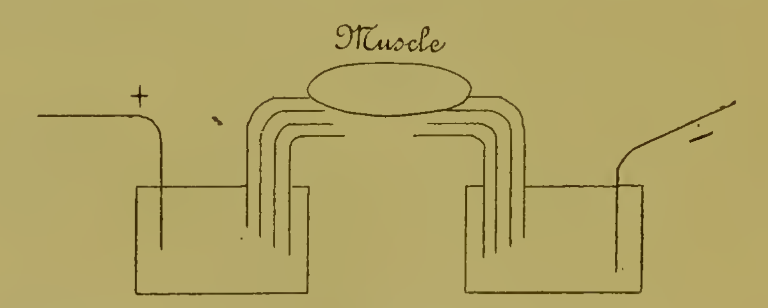


Fig. 90. — Électrodes impolarisables de Dubois Reymond. Le muscle repose sur des feuilles de papier buvard imprégnées d'une solution de sel marin.

tallique plongeait dans cette solution et la reliait aux autres parties du circuit.

L'électrode était mise en rapport avec les tissus organisés au moyen d'un coussin de papier buvard imprégné d'une solution de chlorure de sodium.

Le Dr d'Arsonval, qui a fait une étude particulière de ces électrodes, a signalé leurs nombreux inconvénients. Il a fait voir que les deux solutions salines, sel marin et sulfate de zinc en présence d'un corps poreux tel que le papier buvard donnaient directement naissance à des courants qui peuvent produire de graves erreurs.

Si par exemple on veut chercher avec de pareilles électrodes si un tissu est le siège d'un courant, les électrodes étant mises en communication avec un galvanomètre et avec le tissu, on est exposé à attribuer à celui-ci des forces électromotrices qui ont pris naissance au niveau des électrodes.

De plus ces électrodes ne peuvent pas pénétrer dans les tissus et il faut les préparer à chaque expérience.

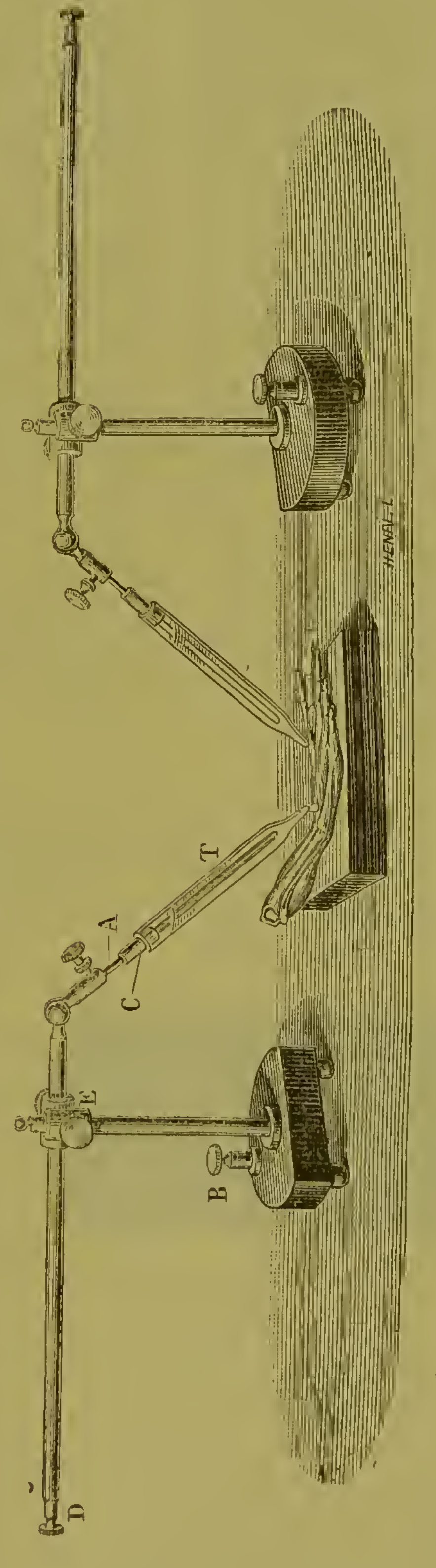


Fig. 91. — Électrodes impolarisables du Dr d'Arsonval. T tube contenant la solution de chlorure de sodium. C bouchon traversé par la tige d'argent recouverte de chlorure d'argent. E curseur se déplaçant le long d'un support. B borne reliée au galvanomètre.

171. — Électrodes de M. d'Arsonval. — M. d'Arsonval a indiqué récemment d'autres électrodes

impolarisables dépourvues de ces inconvénients (fig. 91).

Ces électrodes sont simplement constituées par un fil ou une lame d'argent auxquels on peut donner les dispositions les plus convenables pour l'objet qu'on a en vue et elles sont recouvertes d'une couche de chlorure d'argent fondu.

M. d'Arsonval a donné dans les *Archives de physiologie*, 1889, les indications qui permettent à tout expérimentateur de construire lui-même ses électrodes.

Si on emploie l'électromètre capillaire ou l'électromètre à quadrants on peut mettre directement les électrodes en rapport avec les tissus, mais si l'on se sert du galvanomètre, M. d'Arsonval conseille d'établir la communication avec les électrodes par la solution de chlorure de sodium à 6 °/₀ placée dans un tube T effilé qui entoure l'électrode, et qui est mise en rapport avec le tissu par la partie capillaire du tube.

172. — Interrupteurs. — Dans beaucoup d'applications il faut interrompre ou rétablir le courant. Les piles médicales sont munies à cet effet d'un accessoire qu'on appelle l'interrupteur.

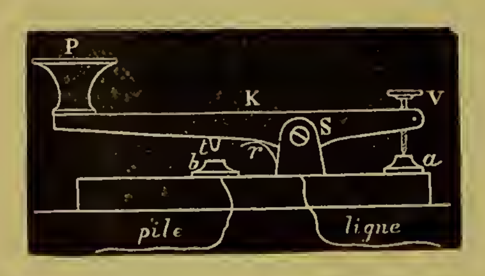


Fig. 92. — Clef de Morse.

La clef de Morse (fig 92) constitue un excellent interrupteur.

On sait qu'elle se compose d'un levier mobile K autour d'un axe horizontal, muni de deux pointes mousses *t* et *v* qui peuvent appuyer sur les bornes *b* et *a*. Une manette P en substance isolante sert à faire mouvoir le levier, un ressort *r* maintient la pointe *t* soulevée. La pointe *v* repose alors sur la borne correspondante. Le courant est fermé quand les communications, étant établies comme dans la figure, la tige *t* touche la borne *b*.

Il est interrompu quand on n'appuie pas sur la manette P.

Dans beaucoup d'appareils l'interrupteur est beaucoup plus simple. Il se compose de deux lames métalliques, qui sont en communication avec les deux pôles de la pile. L'une forme ressort et se déplace lorsqu'on appuie sur un bouton.

Le ressort n'étant pas en contact avec l'autre lame métallique, le courant ne passe pas. Il est au contraire fermé si en appuyant sur le bouton on met les deux lames en contact. C'est, comme on le voit, la disposition des boutons de sonnerie électrique.

173 — COMMUTATEURS. — Ce sont des instruments qui servent à renverser le sens du courant.

174. — COMMUTATEUR D'AMPÈRE. — Ce commutateur fréquemment usité (fig 93 et 94) présente cinq bornes (G C D E F). Les bornes (E F) communiquent avec les extrémités A B du circuit qu'on veut faire traverser par le courant. Les rhéophores de la pile sont reliés aux bornes C et D. Les bornes G et D sont réunies par le conducteur $d\,d'$. Un double levier formé par deux tiges métalliques mobiles autour de E et F articulées avec une traverse sur laquelle est fixée une poignée en substance isolante peut être amené de la position (E C D F) à (E G C F). On voit facilement qu'en amenant le levier de l'une des positions à l'autre on change le sens du courant dans le circuit A R B.

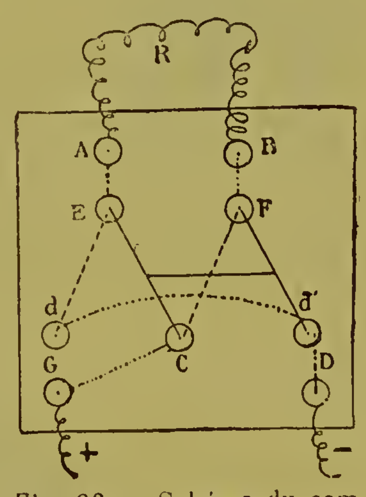


Fig. 93. — Schéma du commutateur d'Ampère.

175. — COMMUTATEUR DE BERTIN. — Un excellent commutateur est celui de Bertin (fig. 95). Il se compose d'un disque d'ébonite mobile au moyen d'une poignée *m* autour de son axe de figure. Sur le disque sont fixées deux bandes métalliques. L'une *o* disposée radialement communique

avec l'axe et par l'axe avec le pôle positif P. Une flèche est tracée sur cette bande et indique le sens du courant. L'autre bande *e i* a la forme d'une lyre. Elle communique avec le pôle négatif N. Ces deux bandes sont terminées par des extrémités saillantes. En déplaçant le disque on amène la

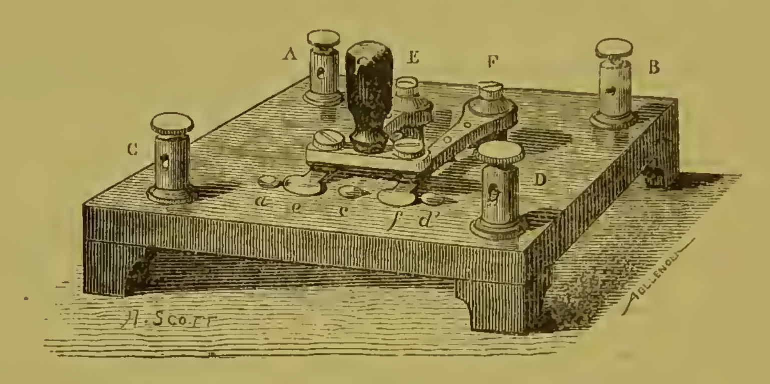


Fig. 94. — Commutateur d'Ampère.

bande centrale et une extrémité de l'autre à toucher deux ressorts *r r'* en communication par les bornes *b b'* avec le conducteur à travers lequel doit passer le courant. Les communications étant établies comme l'indique la figure, le courant a une certaine direction. Il a une direction

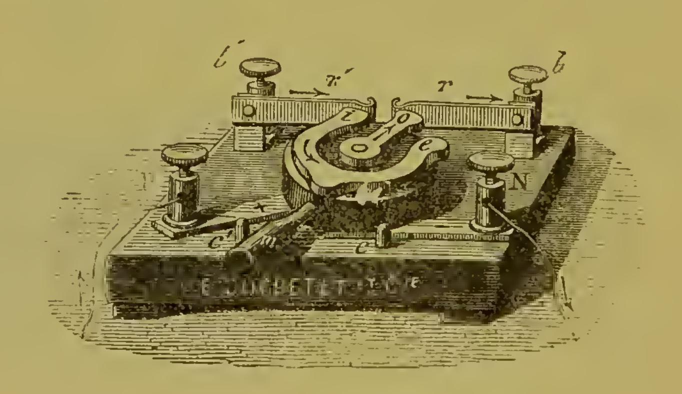


Fig. 95. — Commutateur de Bertin.

opposée si on amène la bande centrale à toucher le ressort de gauche et la bande extérieure à toucher le ressort de droite. Enfin en amenant la bande centrale entre les deux ressorts le courant ne passe pas. L'appareil peut donc servir d'interrupteur.

176. — Commutateur de Ruhmkorff. — Le commutateur de Ruhmkorff (fig. 96 et 97) est un cylindre d'ébonite cc' mobile autour de son axe de figure, qui est horizontal, au moyen d'un bouton. Deux bandes métalliques sont fixées sur le cylindre. Elles sont isolées l'une de l'autre et communiquent avec les extrémités métalliques de l'axe E E' supportées par des montants métalliques en communication par les bornes avec les extrémités du circuit. Deux ressorts + et — appuient sur l'une ou l'autre joue et sont reliés avec les deux pôles de la pile par les bornes A et B. Le commutateur ayant la position de la figure, on voit que le courant suit le circuit extérieur dans un sens déterminé.

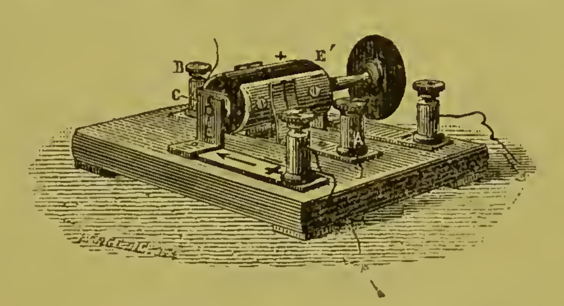


Fig. 96. — Commutateur de Ruhmkorff.

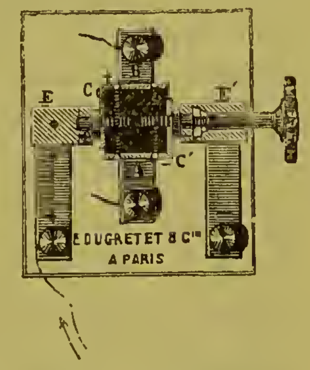


Fig. 97. — Commutateur de Ruhmkorff.

Si on fait tourner le cylindre de 180° le courant marche dans le circuit en sens opposé. Enfin, si on tourne le cylindre de 90° à partir de la position que nous lui avons donnée, les ressorts ne touchent plus les joues et le courant est interrompu.

177. — Commutateur de Watteville. — De Watteville a imaginé un commutateur (fig. 98) qui permet de soumettre le malade successivement au courant galvanique et au courant faradique.

Ce commutateur comprend, comme le commutateur d'Ampère, un double levier dont les deux branches réunies par une traverse articulée en substance isolante, peuvent tourner autour de 2 axes verticaux qui sont réunis par les rhéophores et les électrodes au malade à électriser.

Les 2 leviers sont terminés par deux bandes métalli-

ques, et en déplaçant l'appareil, on amène l'une d'elles en contact avec une des lames 1 ou 2, tandis que l'autre touche simultanément l'autre lame en même temps que la pastille 2.

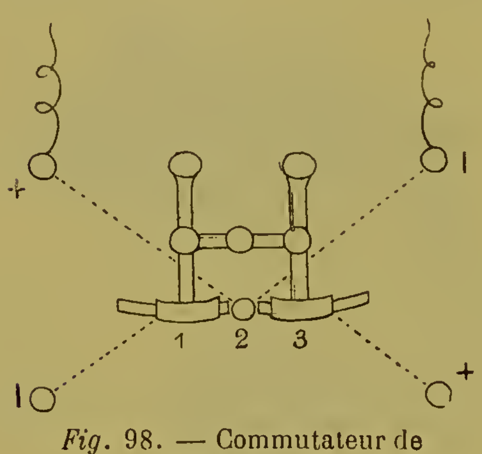


Fig. 98. — Commutateur de Watteville.

Dans la figure, le pôle négatif de la bobine et le pôle positif de la pile que nous supposerons, l'une à droite, l'autre à gauche, sont reliés à la pastille 2, tandis que le pôle négatif de la bobine communique avec la lame 3 et le pôle positif de la pile avec la lame 2.

Dans ces conditions, si le levier de droite est relié à la lame 3, tandis que le levier de gauche communique avec la pastille 2 et la lame 1, le courant induit passe seul. C'est le courant galvanique qu'on utilise, si le levier de droite touche simultanément 2 et 3, tandis que le levier de gauche communique avec 1.

CHAPITRE V.

ACCESSOIRES DES PILES MÉDICALES. — GALVANOMÈTRES ET COLLECTEURS.

---

178. — Galvanomètres. Généralités. — L'accessoire le plus important d'une pile médicale est sans contredit le galvanomètre, appareil qui sert à mesurer l'intensité du courant.

On peut dire que les progrès accomplis en galvanothérapie ne datent que du moment où le galvanomètre est entré dans la pratique médicale. On ne peut faire avec une pile aucun diagnostic sérieux, on ne peut appliquer le courant galvanique à la thérapeutique sans l'emploi de cet instrument.

L'intensité d'un courant n'est pas déterminée quand on se contente de donner le nombre d'éléments, Daniell, Gaiffe, etc., qui ont été employés.

L'intensité du courant, comme nous le savons, dépend de la force électromotrice de la pile, de la résistance intérieure et de la résistance extérieure.

La force électromotrice de la pile dépend non seulement des corps solides, mais encore des liquides qui entrent dans sa constitution. Or ces liquides se modifient. Lorsque la pile a fonctionné pendant quelque temps, les liquides n'ont plus la composition qu'ils avaient au début, et, par conséquent, la force électromotrice n'est plus la même.

Les modifications que subissent les liquides entraînent également une modification dans la résistance intérieure. La résistance extérieure est généralement celle du corps humain; mais cette résistance dépend de la surface des excitateurs. Un excitateur de grande surface, rendant le passage du courant plus facile, diminue la résistance. La

résistance du corps n'est pas non plus la même si on place les excitateurs de chaque côté de la langue, ou bien à la nuque et à la région lombaire. Enfin, les électrodes conservant la même position, nous verrons que la résistance se modifie. Quelque temps après leur application, la résistance est moindre qu'au début.

Ainsi, le médecin doit bien retenir que, si le nombre des éléments est un des facteurs qui font varier l'intensité, il y en a beaucoup d'autres qui interviennent.

179. — Expérience d'Oerstedt. — C'est à Oerstedt qu'on doit l'expérience fondamentale qui conduisit à la construction du galvanomètre (fig. 99).

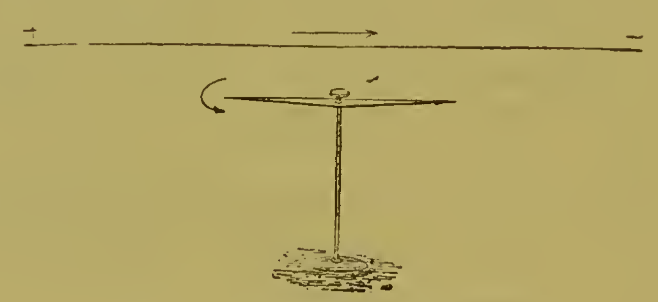


Fig. 99. — Expérience d'Oerstedt

Le courant d'une pile traversait un fil situé dans le plan du méridien magnétique (pag. 114).

Oerstedt observa qu'une aiguille aimantée, mobile dans un plan horizontal et voisine du courant, était déviée de sa position d'équilibre et tendait à se mettre en croix avec le fil.

180. - Loi d'Ampère. — Ampère établit ensuite que *le pôle austral de l'aiguille était toujours dévié à la gauche du courant.*

La droite et la gauche d'un courant sont la droite et la gauche d'un observateur couché dans le courant de façon que celui-ci entre par les pieds et sorte par la tête, l'observateur regardant l'aiguille.

181. — Multiplication de Schweigger. — Schweigger augmenta l'effet produit sur l'aiguille en faisant passer le courant dans un fil recouvert de soie, enroulé sur un cadre en bois, en ivoire, ou mieux en cuivre rouge.

182. — Aiguilles astatiques de Nobili. — Enfin Nobili remplaça l'aiguille mobile par deux aiguilles aimantées, reliées l'une à l'autre par une tige métallique, disposées parallèlement de façon que les pôles de nom contraire soient en regard.

Ces aiguilles représentent ce qu'on appelle un système astatique. Ce système d'aiguilles est soutenu par un fil de cocon. L'une des aiguilles est dans l'intérieur du cadre de Schweigger, la seconde se déplace à l'extérieur sur un cercle divisé.

L'aimant terrestre conserve une action particulière sur ce système.

L'une des aiguilles ayant une aimantation un peu plus forte que l'autre, les courants faibles produisent une déviation moins grande que les courants forts, de sorte que les déviations peuvent servir à mesurer l'intensité des courants.

En s'appuyant sur la loi d'Ampère, on démontre facilement que les actions du courant qui traverse le cadre dans un sens déterminé, sont concordantes pour imprimer au système d'aiguilles une déviation dans un sens. La déviation est de sens contraire si le courant change de direction.

183. — Galvanomètres médicaux. — Beaucoup de galvanomètres médicaux sont des modifications du galvanomètre de Schweigger.

Nous distinguerons les galvanomètres de laboratoire, qui servent pour les recherches d'électrophysiologie ou les mesures délicates, et les galvanomètres médicaux proprement dits, dont le praticien doit particulièrement se servir.

184. — Galvanomètres de laboratoire. — *A*. Galvanomètre de Nobili. — Le galvanomètre de Nobili a été utilisé par Dubois-Reymond et Claude Bernard dans un grand nombre d'expériences (fig. 100).

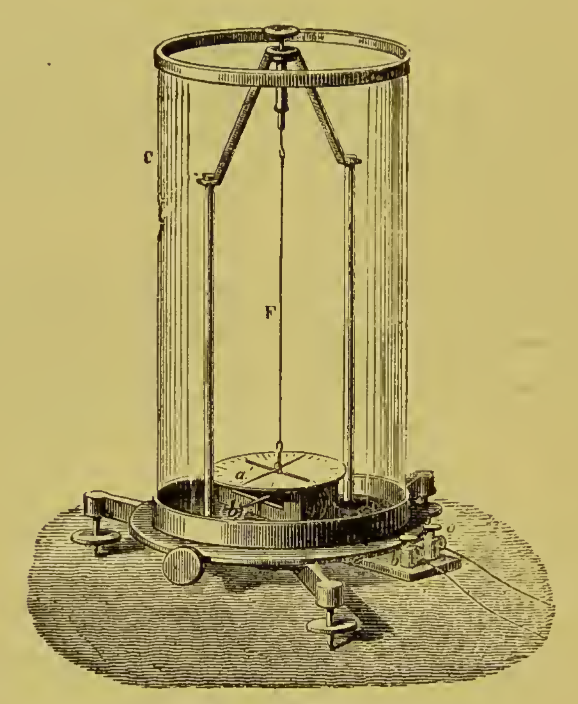


Fig. 100. — Galvanomètre de Nobili.

L'appareil comprend un système astatique (*a b*). L'une des aiguilles est dans l'intérieur du cadre, l'autre à l'extérieur. Les déviations sont lues sur un cercle divisé ou observées au moyen d'un miroir, d'une règle divisée et d'une lunette comme nous l'avons dit à propos de l'électromètre de Thompson (pag. 31). Les déviations doivent toujours être petites pour qu'on puisse les considérer comme proportionnelles aux intensités des courants. On peut toujours obtenir ce résultat par l'emploi d'un shunt.

Lorsque le cadre du galvanomètre est en bois, l'aiguille oscille longtemps avant de prendre sa position d'équilibre. Dans les galvanomètres de précision on amortit rapidement les oscillations au moyen d'un cadre en cuivre rouge. L'ouverture du cadre est calculée de façon que l'aiguille mobile s'écarte très peu de ses parois.

Arago a montré que, lorsqu'il se produit un déplacement relatif entre des aimants et une masse de cuivre, il y a production dans le cuivre de courants d'induction qui s'opposent aux mouvements de la partie mobile.

Dans le galvanomètre, les courants induits développés dans le cuivre rouge s'opposent au mouvement de l'aiguille mobile, d'autant plus fortement que l'aiguille et le cuivre sont plus rapprochés. Cette condition étant réalisée, l'aiguille prend rapidement sa position d'équilibre.

On n'attend pas du reste que l'aiguille soit complètement revenue au repos. On note les divisions de la règle $n\ n'\ n''$ correspondant à trois déviations consécutives, et comme pour la balance $\frac{n + 2n' + n''}{4}$ représente la division qui correspond à la position d'équilibre.

Le cadre est porté par un pied muni de vis calantes. Le cadre ou le pied sont mobiles autour d'un axe vertical.

Ces dispositions permettent de rendre le système astatique parfaitement mobile et d'amener le plan d'enroulement du fil à être parallèle au plan du méridien magnétique.

Une cage en verre protège les aiguilles contre l'agitation de l'air extérieur.

Le fil est recouvert de soie blanche. La soie verte renferme du fer qui a une action sur les aiguilles.

Son diamètre et sa longueur dépendent de la source, que l'on emploie.

On démontre en effet que la sensibilité du galvanomètre augmente quand sa résistance est du même ordre que celle de la source.

Ainsi dans les expériences de Dubois-Reymond les sources électriques étant des nerfs ou des muscles, corps de grande résistance, le fil avait 1 diamètre de $\frac{1}{10}$ de millimètre et faisait 30,000 tours. Dans les recherches de Claude Bernard sur la chaleur animale la source d'électricité était un couple thermo-électrique de résistance faible,

le fil du galvanomètre avait 1 diamètre de 1 millimètre et ne faisait pas plus de 100 tours.

B. Galvanomètre de Weber.— Il n'y a pas d'équipage astatique. L'aiguille aimantée est remplacée par un gros barreau cylindrique porté par un étrier et mobile à l'intérieur du cadre en cuivre rouge (fig. 101).

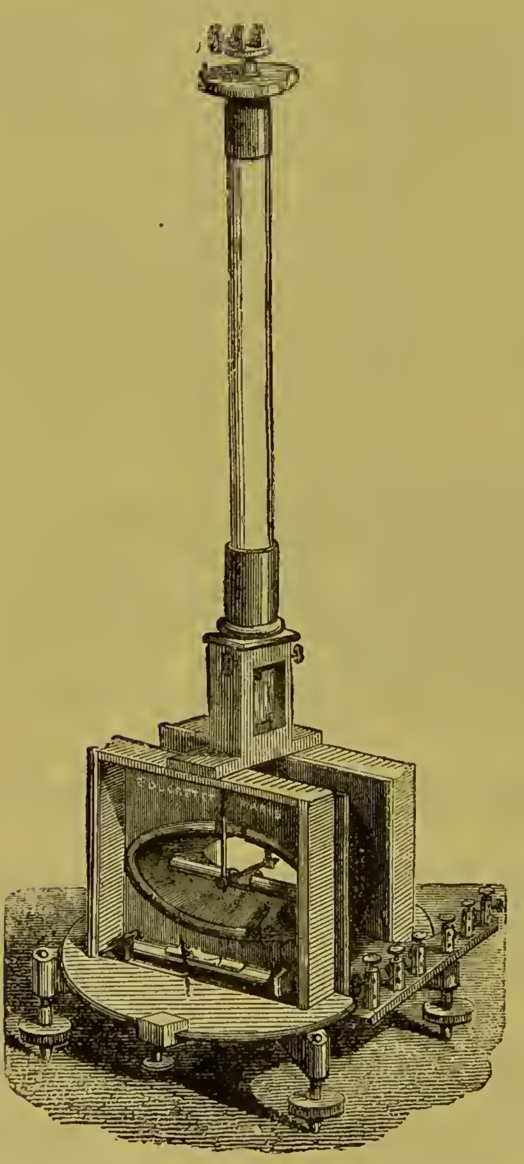


Fig. 101. — Galvanomètre de Weber.

A l'étrier suspendu à un fil vertical est rattaché un miroir plan.

Ce galvanomètre est muni de plusieurs bobines dont les extrémités aboutissent à des bornes A B — A′ B′ — A″ B″. Le schéma (fig. 102) permet de comprendre leur disposition et la manière dont on peut les associer.

Veut-on que le courant passe dans une seule bobine, on met la source en communication avec deux des bornes A B par exemple. Si le courant doit passer dans un circuit plus long, on réunit métalliquement B et A′, B et A″ et on met la source en communication sur les bornes extrêmes A et B″. Si on veut que le galvanomètre offre peu de résistance, on réunit A A′ A″, B B′ B″, et on met la source en communication avec les bornes ainsi réunies. Enfin, si l'on veut seulement apprécier l'excès de l'intensité d'un

courant sur l'autre, le pôle positif de l'une des sources communiquant avec A, le pôle négatif avec B, on met le

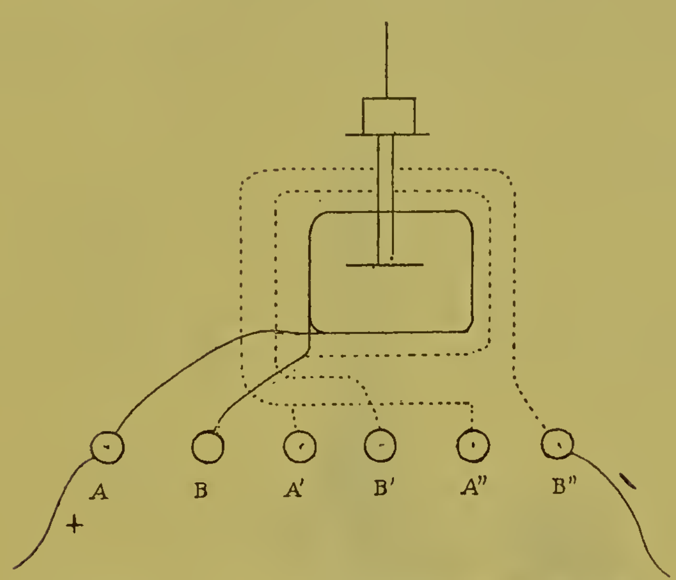


Fig. 102. — Schéma du galvanomètre Weber.

pôle négatif de la deuxième source en communication avec A′, son pôle positif avec B′. Les deux courants traversent le galvanomètre en sens contraire, et si les circuits ont même longueur et même section, on peut ainsi apprécier l'excès de l'intensité d'un courant sur l'autre.

C. Galvanomètre universel du Dr d'Arsonval. — Dans les Archives de Physiologie de 1889, M. d'Arsonval a décrit un galvanomètre, auquel il donne le nom de « galvanomètre universel ». Ce galvanomètre est construit surtout en vue des expériences d'électro-physiologie ; c'est une modification de la boussole de Wiedemann.

Il se compose essentiellement (fig. 103) de deux bobines H H′ l'une à fil gros, l'autre à fil fin que l'on peut déplacer le long d'une règle divisée P P′ de façon à les amener à diverses distances de l'aimant mobile qui, pour une certaine position des bobines, est entouré complètement par elles. On peut ainsi donner à l'instrument divers degrés de sensibilité.

L'aimant mobile A a la forme d'un fer à cheval ; il se déplace dans une cavité R creusée dans une masse de cuivre destinée à amortir les oscillations.

Le miroir est relié à l'aimant par une tige métallique *t*,

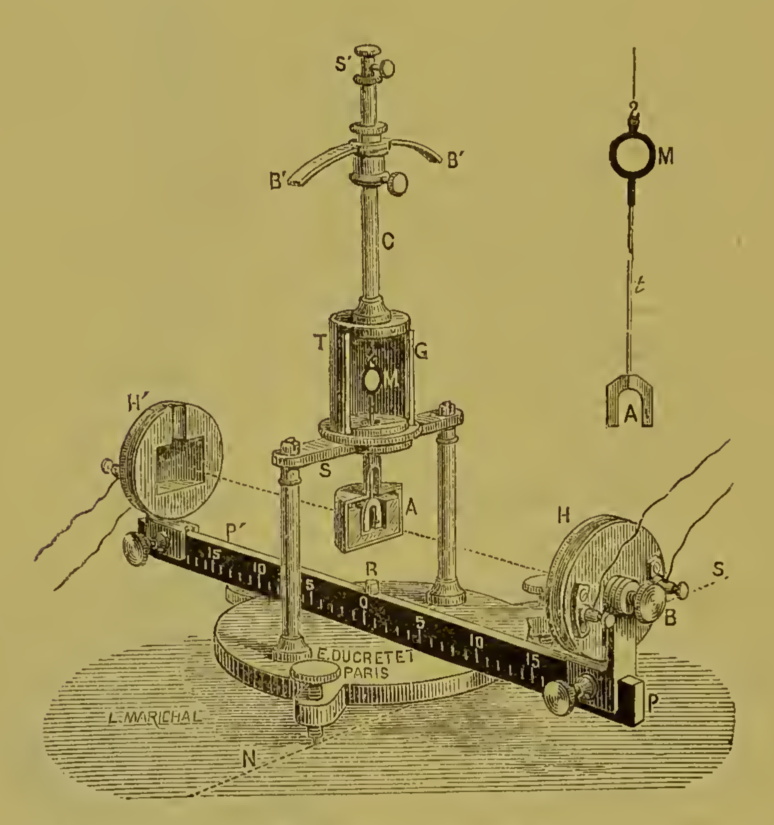


Fig. 103. — Galvanomètre universel de d'Arsonval.

il est soutenu par un fil de cocon qui s'enroule sur un treuil placé à la partie supérieure, après avoir traversé un tube creux *c* sur lequel peut glisser un barreau aimanté. En déplaçant ce barreau, on donne à l'aimant mobile une position d'équilibre dans tout autre plan que le méridien magnétique et on fait varier la sensibilité de l'instrument.

D. Galvanomètres apériodiques. — On appelle ainsi des galvanomètres dans lesquels la période des oscillations est très courte. La partie mobile prend presque instantanément sa position d'équilibre.

On obtient ce résultat au moyen d'un aimant puissant,

qui développe dans la partie mobile au moment où elle se déplace des courants induits qui s'opposent au déplacement et amortissent instantanément les oscillations. Nous avons vu déjà les courants induits développés dans les galvanomètres de Nobili, intervenir comme amortisseurs. Dans les galvanomètres apériodiques de laboratoire l'amortissement se fait très vite, les courants induits étant très intenses à cause de la grande masse de l'aimant et de la faible masse de la partie mobile.

E. Galvanomètre de MM. Deprez et d'Arsonval.— Tel est le galvanomètre de MM. Deprez et d'Arsonval (fig. 104).

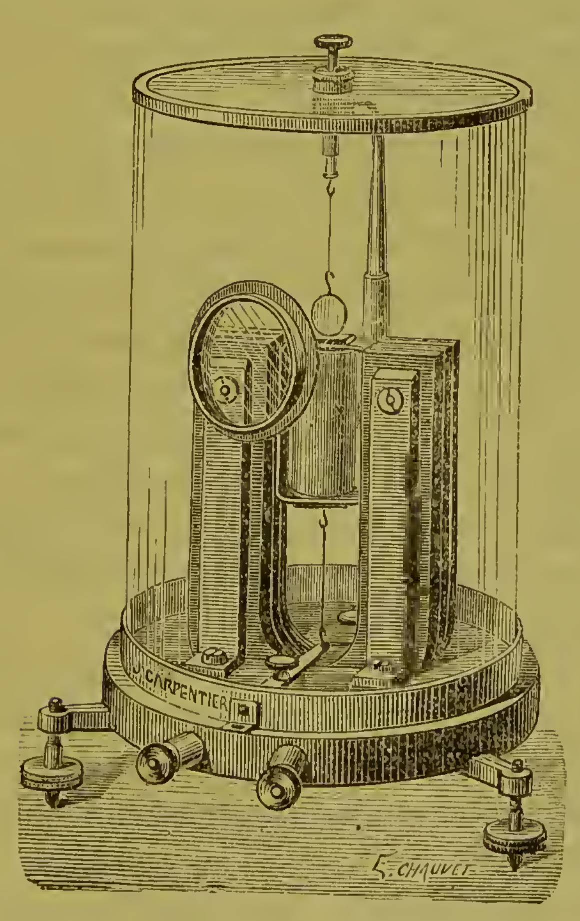


Fig. 104. — Galvanomètre apériodique Deprez et d'Arsonval construit par Carpentier.

Il comprend un aimant puissant en fer à cheval dont l'axe est vertical. Entre ces deux branches est un cylindre de

fer doux fixe comme l'aimant et qui s'aimante sous son influence. On obtient ainsi un champ magnétique constitué par deux aimants ayant les pôles de nom contraire en présence.

Autour de l'axe du cylindre et dans l'intervalle qui le sépare de l'aimant est disposée une bobine verticale formée sur l'enroulement d'un fil de cuivre dont les diverses parties sont réunies et isolées par une substance mauvaise conductrice. Les extrémités du fil de la bobine aboutissent à deux fils en platine placés sur le prolongement l'un de l'autre et sur la direction de l'axe de la bobine.

Le fil supérieur et le fil inférieur sont rattachés à des pièces mobiles qui permettent de les tendre. Ils sont mis en communication avec des bornes qui servent à l'entrée et à la sortie du courant.

Supposons que la bobine, que l'on a réglée de façon que son plan de symétrie soit dans le plan vertical qui renferme les pôles, soit traversée par un courant.

En vertu des actions réciproques des courants et des aimants, la bobine est déplacée de sa position d'équilibre. Mais sous l'influence des courants induits dans la bobine et de la torsion des fils de suspension elle arrive instantanément à une nouvelle position d'équilibre.

L'observation de la déviation se fait au moyen d'un miroir concave et de la règle en celluloïd décrite à propos de l'électromètre (pag. 29).

Dans un nouveau modèle la communication entre le fil inférieur et la source d'électricité se fait au moyen du mercure contenu dans un godet, le mercure est recouvert d'une solution de cyanure de potassium qui le protège contre l'oxydation.

D'autres galvanomètres, tels que les galvanomètres Thompson, sont également des appareils de très haute sensibilité.

On peut les rapprocher du galvanomètre Wiedemann d'Arsonval avec cette différence que la bobine qui entoure

l'aimant est fixe. Nous n'insisterons pas sur leur description.

185. — Galvanomètres médicaux proprement dits. — *A*, Galvanomètre de Gaiffe. — Les premiers galvanomètres gradués en milliampères ont été construits par Gaiffe.

Dans les galvanomètres de Nobili l'aiguille se déplace sur un cercle divisé en degrés, la ligne (0-180) correspondant à la position d'équilibre de l'aiguille.

On définit l'intensité du courant, quand on emploie ce galvanomètre, par la déviation que prend sous son influence l'aiguille du galvanomètre. Mais les indications fournies par divers observateurs ne sont pas comparables.

Les instruments peuvent fournir les mêmes indications, mais l'intensité du courant n'est pas la même puisque les galvanomètres n'ont pas nécessairement la même sensibilité.

Mais si le galvanomètre est gradué en milliampères, quelle que soit sa sensibilité, il fournit toujours les mêmes indications, l'intensité du courant étant constante.

Le premier galvanomètre de Gaiffe est une modification du galvanomètre de Schweigger (fig. 105).

Il comprend un cadre sur lequel est enroulé un fil fin. Dans l'intérieur de la bobine est une aiguille aimantée mobile sur un pivot vertical. Un ressort A sur lequel on agit au moyen d'une vis *v* arrête l'aiguille quand l'instrument ne sert pas. Un index métallique en croix avec l'aiguille, à laquelle il est relié, se meut sur un cercle divisé. Avant toute expérience on doit s'assurer que l'index est au zéro quand le courant ne passe pas. L'aiguille aimantée dans ces conditions a son axe dans le plan de symétrie du cadre.

Le cercle divisé porte une graduation en milliampères, ou en dix milliampères. On obtient cette graduation en mettant le galvanomètre à graduer et un galvanomètre étalonné dans le même circuit, et au point où s'arrête l'aiguille on marque les indications du galvanomètre étalon.

La graduation du galvanomètre étalon peut se faire de la façon suivante :

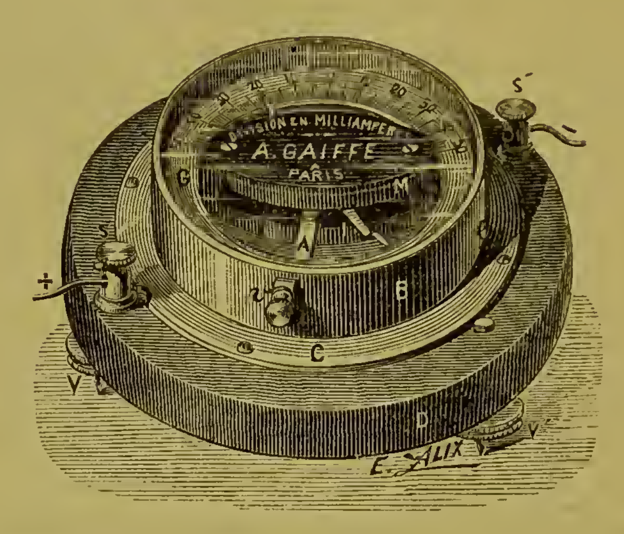


Fig. 105. — Galvanomètre médical de Gaiffe. 1er modèle. L'index est à la division 20 M A. B boîte cylindrique qui loge l'appareil. A ressort commandé par la vis V, SS′ bornes du galvanomètre. D support avec des calantes V.

On prend un élément Daniell dans lequel le sulfate de cuivre est remplacé par de l'azotate du même métal. La force électromotrice est dans ces conditions très voisine d'un volt. La section de l'élément étant très grande, sa résistance est négligeable.

Le pôle positif et le pôle négatif sont réunis par un fil interpolaire sans résistance sur le trajet duquel on trouve : 1° le galvanomètre à graduer dont la résistance a été préalablement déterminée et que nous supposons égale à 50 ohms, 2° un rhéostat dont la résistance est variable.

Si on donne au rhéostat les résistances de 950, 450, 200 et 50 ohms, etc., les intensités des courants obtenus successivement seront d'après la loi de Ohm :

$$\frac{1}{950+50} \qquad \frac{1}{450+50} \qquad \frac{1}{200+50} \qquad \frac{1}{50+50} \text{ etc.,}$$

c'est-à-dire $\frac{1}{1000}$ $\frac{1}{500}$ $\frac{1}{250}$ $\frac{1}{100}$ etc.,

ou bien 1 milliamp., 2 milliamp., 4 milliam., 10 milliamp.

Pour chacun des courants l'index occupe une position déterminée sur la graduation. Au point où il se fixe, on marque l'intensité correspondante.

On doit dans chaque cas au moyen d'un commutateur observer les déviations de l'aiguille de part et d'autre du zéro pour chaque intensité du courant. L'appareil n'étant pas rigoureusement symétrique, les déviations, pour une même intensité, peuvent ne pas être absolument égales.

Les intensités ne sont pas, au delà d'une certaine limite, proportionnelles aux déviations. Aussi, les divisions correspondantes aux intensités n'étaient pas équidistantes dans les premiers galvanomètres de Gaiffe. Plus tard, l'enroulement du fil fut modifié de telle sorte que le courant qui traverse le cercle fait subir à l'aiguille des déviations sensiblement proportionnelles aux intensités. Les divisions de la graduation sont alors équidistantes.

La lecture des premiers galvanomètres était assez pénible. Il fallait s'assurer avant l'observation que l'aiguille était au zéro. L'aiguille oscillait assez longtemps avant de se fixer. Le cadre du galvanomètre devait toujours être horizontal. Enfin les indications n'étaient pas absolument constantes.

Nous savons que l'aiguille du galvanomètre prend une position d'équilibre sous l'action de deux forces, l'une due au courant, l'autre à l'aimant terrestre. L'intensité de cette dernière force n'étant pas constante soit dans le même lieu, soit dans des endroits différents, on comprend que les indications du galvanomètre subissent des modifications dont le médecin peut du reste ne pas tenir compte.

B. Galvanomètres médicaux apériodiques. — Gaiffe construit depuis quelques années des galvanomètres apériodiques (fig. 106, 107 et 108) dont le principe est le même que celui des galvanomètres apériodiques de laboratoire. On y retrouve un aimant fixe, une bobine mobile avec pièce centrale en fer doux. L'aimant fixe et le fer doux aimanté par influence produisent sur le circuit mo-

bile des actions tellement puissantes par rapport à celles développées par l'aimant terrestre, que ces dernières sont négligeables.

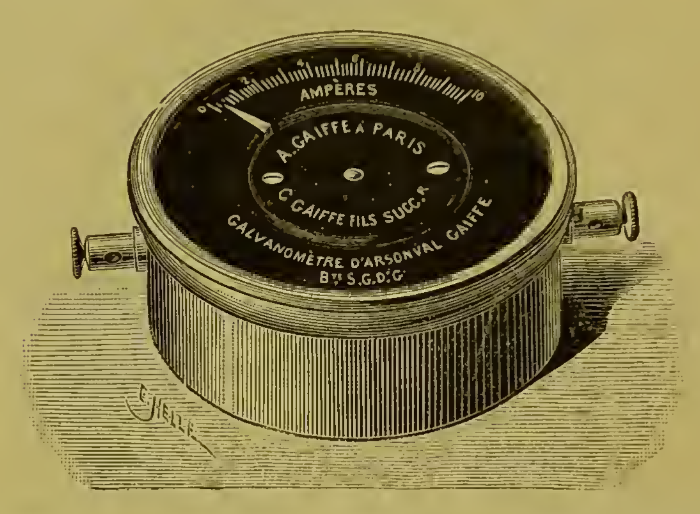


Fig. 106. — Galvanomètre apériodique de Gaiffe : prix 90 fr.

La bobine mobile est reliée à une aiguille qui se déplace sur un cadran divisé, en milliampères ou en fractions de

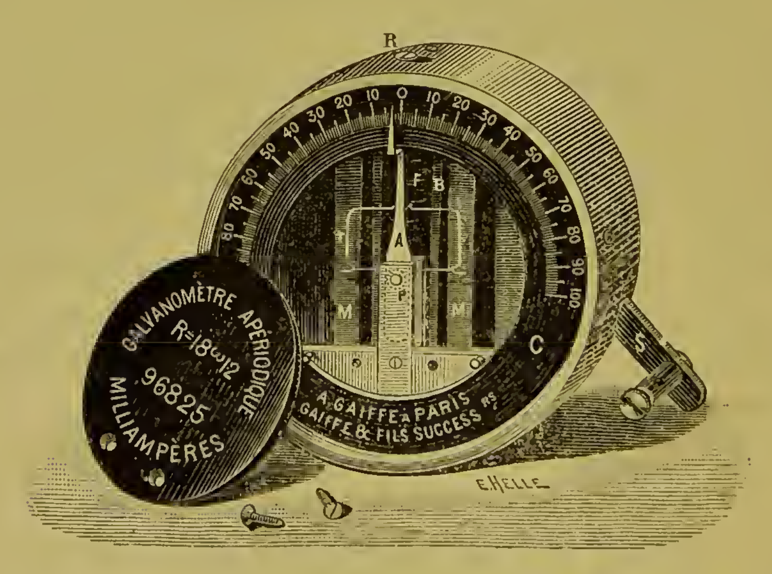


Fig. 107. — Galvanomètre apériodique de Gaiffe ouvert pour faire voir les détails de l'instrument.

milliampères. L'aiguille est au zéro quelle que soit l'inclinaison qu'on donne à l'instrument quand le courant ne passe pas.

Aussi les observations avec les nouveaux instruments peuvent se faire en donnant au cadre l'inclinaison la plus

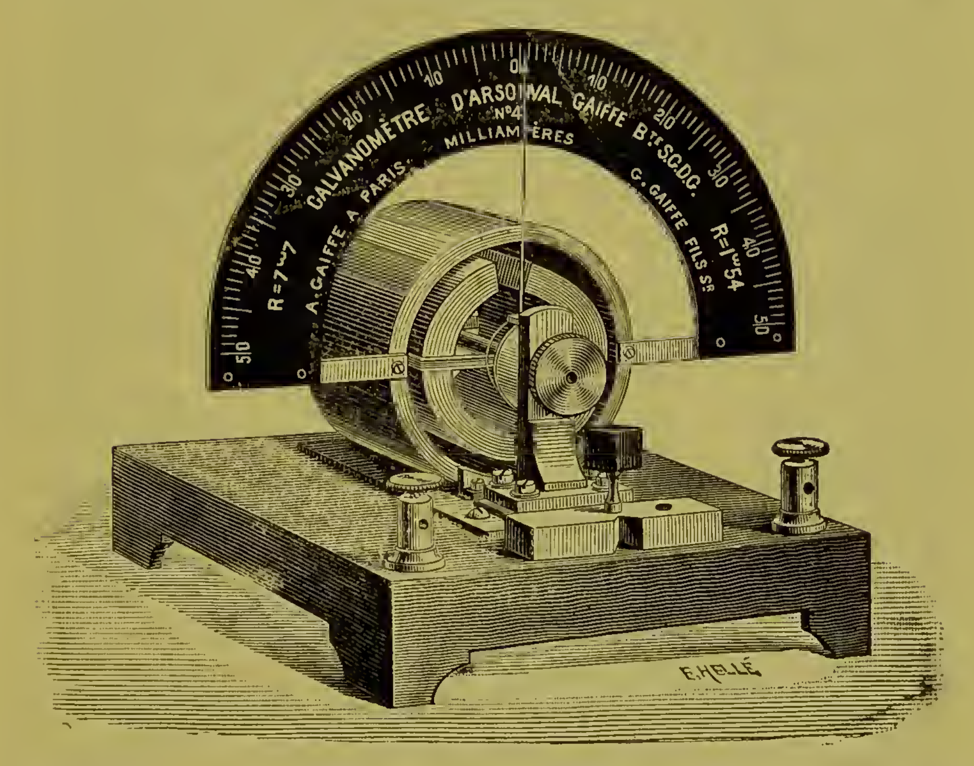


Fig. 108. — Galvanomètre apériodique de Gaiffe à cadran vertical.

commode pour la lecture. L'aiguille est toujours au zéro avant l'observation et l'instrument est très sensiblement apériodique.

C. Galvanomètre de Kohlrausch. — Signalons également comme galvanomètre apériodique le galvanomètre construit en Allemagne sur les indications de Kohlrausch (fig. 109).

Il est fondé sur ce fait expérimental qu'un barreau aimanté suspendu à un ressort et pénétrant en partie dans une bobine est entraîné dans l'intérieur au moment où le courant la traverse. La bobine est transformée en solénoïde tout à fait assimilable à un aimant avec ses deux pôles. Si le pôle de la bobine et le plus rapproché des pôles de l'aimant sont de nom contraire, l'aimant est attiré et s'enfonce; il est au contraire repoussé si le passage

du courant a développé dans la bobine un pôle de même nom dans le voisinage de l'aimant.

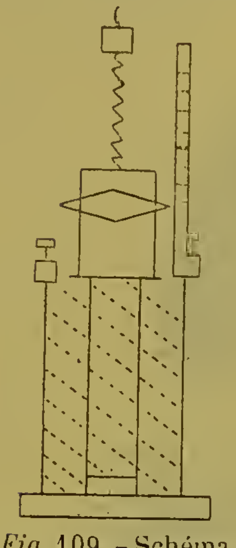


Fig. 109. - Schéma du Galvanomètre de Kohlrausch.

Dans le galvanomètre de Kohlrausch, l'aimant est un tube d'acier aimanté suspendu à un ressort à boudin. Dans la position d'équilibre, une aiguille ou plume liée à l'aimant est au 0 d'une règle divisée fixée à l'extérieur de la boîte cylindrique qui protège l'appareil ; le courant traversant la bobine placée au-dessous et en sens convenable, l'aimant s'enfonce en même temps que l'index descend et indique par sa position l'intensité du courant. L'apériodicité, c'est-à-dire l'absence d'oscillations, est obtenue en faisant glisser l'aimant creux le long d'un noyau cylindrique en fer doux avec un faible jeu.

La résistance de l'air qui se déplace difficilement entre l'aimant et la tige amortit rapidement les oscillations. Cet appareil très simple, d'une lecture facile, n'est pas utilisé en France. Il paraît cependant capable de rendre de bons services. Il présente cet inconvénient que le courant doit toujours le traverser dans la même direction. Aussi l'appareil doit être muni d'un commutateur qui permet de faire passer le courant dans une direction telle que l'aimant soit toujours attiré à l'intérieur du solénoïde.

Ces galvanomètres sont munis de shunts qui permettent, comme nous l'avons dit déjà, de réduire dans un rapport déterminé l'intensité du courant qui traverse l'appareil.

186. — Galvanoscopes. — On appelle ainsi des appareils qui servent à constater la présence des courants mais qui n'en mesurent pas l'intensité. Ce sont des cadres de Schweigger dans lesquels se déplace une aiguille aimantée.

Le médecin reconnaîtra tout aussi bien l'existence du courant en mettant les rhéophores de chaque côté de la

langue. Il éprouvera une sensation acide à l'électrode positive et alcaline à l'électrode négative.

Il peut aussi reconnaître le signe des pôles au moyen d'un papier imprégné d'une solution d'iodure de potassium amidonné et mouillé. Les rhéophores étant sur le papier, on le voit bleuir du côté du rhéophore positif.

Dans beaucoup d'expériences de physiologie on reconnaît la présence d'un courant au moyen d'une patte de grenouille à la Galvani, dite patte galvanoscopique. L'établissement et l'interruption du courant sont indiqués par des contractions musculaires.

L'existence des courants induits peut se reconnaître, comme nous le verrons, au moyen des téléphones.

187. — Collecteurs. — Pour les applications ordinaires, le médecin a à sa disposition des piles de 20 à 40 éléments. Mais, suivant les cas pathologiques, suivant les régions que traverse le courant, il faut lui donner des intensités différentes.

Sans doute on pourrait, en déplaçant le point d'attache des rhéophores, introduire dans le circuit un plus ou moins grand nombre d'éléments. Mais, dans bien des cas, ces tâtonnements seraient pénibles, et on ne pourrait pas, en opérant ainsi, faire varier d'une façon continue l'intensité des courants.

Lorsqu'on opère dans des régions particulièrement délicates (voisinage du cerveau et organes des sens), il faut absolument faire varier l'intensité du courant d'une façon progressive et continue au moyen du rhéostat.

Le meilleur nous paraît être celui de Lewandowski (fig. 59 et 60). Mais, dans la plupart des cas, on peut, sans inconvénient, passer de l'intensité du courant fourni par n éléments à l'intensité du courant produit par $n + 1$ ou même $n + 2$ éléments, n désignant un nombre quelconque pourvu qu'il n'y ait pas interruption quand on fait varier l'intensité.

On utilise alors avec avantage l'accessoire qu'on appelle

collecteur simple ou collecteur double, qui permet d'introduire dans le circuit un plus ou moins grand nombre d'éléments.

188. — Collecteur simple. — Le collecteur simple (fig. 110 et 111) de Gaiffe comprend une planchette de bois

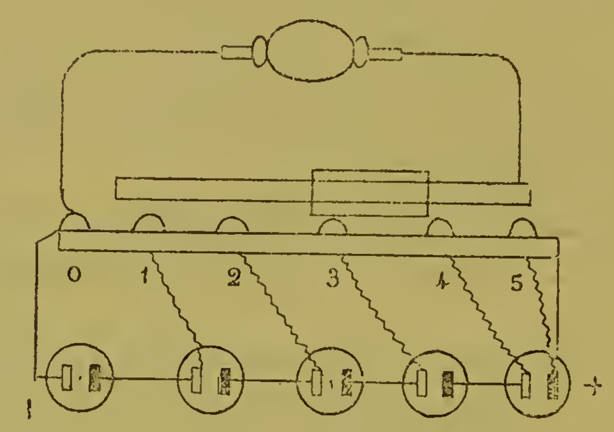


Fig. 110. — Schéma du collecteur simple de Gaiffe.

sur laquelle sont fixés des boutons marqués 0, 1, 2. Au-dessus des boutons 1, 2 est une barre métallique sur laquelle on fait glisser à la main un curseur C qui établit le contact entre les boutons placés au-dessous de la barre. Les divers

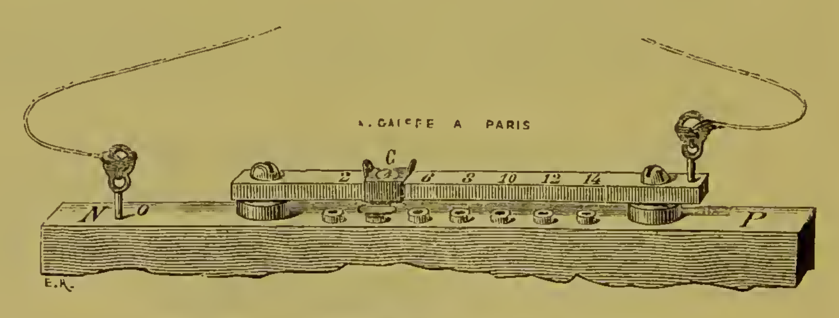


Fig. 111. — Collecteur simple de Gaiffe.

éléments de la pile sont reliés au collecteur de la façon suivante. Le bouton 0 communique avec le pôle négatif, le bouton 1 communique avec la lame positive du premier élément et la lame négative du second; le bouton 3 communique avec la lame positive du 2e élément et la lame négative du 3e élément, et ainsi de suite. Les rhéophores terminés par

les excitateurs sont reliés au bouton 0 et à la barre métallique. On voit qu'au moyen de cette disposition, le curseur étant sur le bouton 1, un élément est dans le circuit. Il y en a deux quand le curseur est sur le n° 2, et ainsi de suite.

En pratique, on réunit seulement les éléments aux divers boutons de deux en deux. L'expérience a montré que la variation d'intensité correspondant à l'introduction ou à la suppression de deux éléments ne produisait pas généralement de réaction sensible. De plus, pour empêcher que le passage d'une intensité à une autre ne se fasse brusquement, le curseur a une longueur suffisante pour pouvoir toucher simultanément deux boutons, de sorte qu'il est déjà en contact avec un bouton au moment où il quitte le bouton précédent.

Avec le collecteur simple on est toujours obligé d'introduire dans le circuit les premiers éléments de la pile montée en série. On ne peut pas tantôt se servir de ces éléments, tantôt utiliser ceux qui sont au milieu ou à la fin de la série de façon à user la pile uniformément dans ses diverses parties. Ce résultat est obtenu avec le collecteur double.

189. — Collecteur double. — Le collecteur double (fig. 112) peut être considéré comme la réunion de deux collecteurs simples. C'est du reste cette association de deux collecteurs simples et rectilignes que le Dr R. Vigouroux a adoptée dans son service de la Salpêtrière. Chaque collecteur comprend une bande métallique sur laquelle glisse un curseur touchant dans son déplacement les boutons 0, 1, 2, 3. Les boutons de même rang sont reliés entre eux.

Le pôle négatif de la pile communique avec les boutons 0. La lame positive du 1er élément et la lame négative du 2e communiquent avec les boutons 1. La lame négative du 2e élément et la lame positive du 3e communiquent avec le bouton 3, et ainsi de suite. Supposons l'un des curseurs

sur le bouton 1 de l'un des collecteurs et l'autre sur le bouton 3 du second. Si deux rhéophores joints aux lames métalliques sont réunis entre eux, on voit que dans le circuit

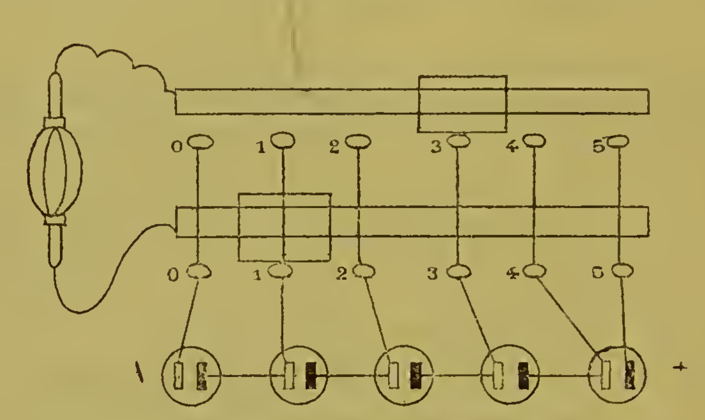


Fig. 112. — Schéma du collecteur double.

il y a deux éléments, c'est-à-dire un nombre d'éléments égal à la différence (3-1), que la lame dont le curseur est sur le bouton du numéro le plus élevé est la lame positive tandis que l'autre lame est la lame négative.

Amenons maintenant le 1er curseur sur le numéro 3 et le 2e sur le numéro 1. La lame qui était négative deviendra positive, l'autre deviendra négative, et nous aurons toujours le même nombre d'éléments dans le circuit.

Ce que nous venons de dire est général. Le nombre des éléments introduits dans le circuit est toujours la différence des numéros des boutons avec lesquels les curseurs sont en contact. Le rhéophore positif correspond toujours à la lame dont le curseur est sur le bouton ayant le numéro le plus élevé. On voit aussi que cette disposition permet d'introduire à volonté dans le circuit les éléments des diverses régions de la pile, de les user à peu près uniformément.

On peut aussi, d'après ce que nous venons de dire, intervertir le sens du courant si, par un déplacement des curseurs, on fait en sorte que le curseur qui correspondait au numéro le plus élevé corresponde au numéro le plus faible, et réciproquement.

Enfin, la pile étant munie d'un galvanomètre, on peut rapidement savoir si un élément est défectueux. On déplace les curseurs de façon à ne laisser dans le circuit qu'un seul élément et on vérifie ainsi de proche en proche si chaque élément fournit un courant appréciable par le galvanomètre.

Comme dans le collecteur simple, on introduit ou on supprime généralement dans le circuit deux éléments au lieu d'un et le curseur a des dimensions telles qu'il peut toucher simultanément deux boutons.

190. — Collecteurs circulaires. — Dans la plupart des piles médicales, au lieu du collecteur rectiligne que nous avons décrit, on emploie des collecteurs simples ou doubles, circulaires.

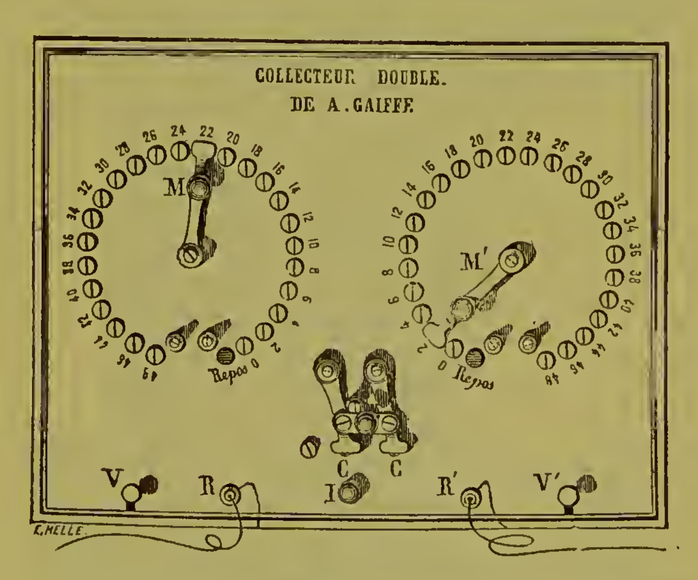


Fig. 113. — Collecteur double de Gaiffe. C C' commutateur. R R' bornes du rhéostat. I interrupteur.

Le plus usité est celui de Gaiffe (fig. 113). Les boutons, au lieu d'être disposés en ligne droite, sont disposés le long d'une circonférence ; ils portent les numéros 0, 1, 2, 3. Le pôle négatif de la pile communique toujours avec le bouton zéro et les divers éléments sont reliés comme précédemment aux divers boutons 1, 2.... Les curseurs sont

remplacés par des manettes M M′ mobiles autour d'axes qui passent par le centre des circonférences sur lesquelles sont fixés les boutons. L'un des rhéophores communiquant avec le zéro, l'autre avec la manette, on voit que dans le collecteur simple le nombre des éléments introduits dans le circuit est représenté par le numéro sur lequel repose l'extrémité élargie de la manette. Sa largeur est calculée de façon que la manette ne quitte un bouton que lorsqu'elle est déjà sur le bouton voisin.

Le collecteur double est disposé comme le collecteur double rectiligne et présente les mêmes avantages.

191. — Schéma d'une pile médicale. — Ainsi, en résumé, une pile médicale comprend comme accessoires : 1° le galvanomètre ; 2° l'interrupteur; 3° le commutateur; 4° le collecteur ; 5° les rhéophores avec les excitateurs.

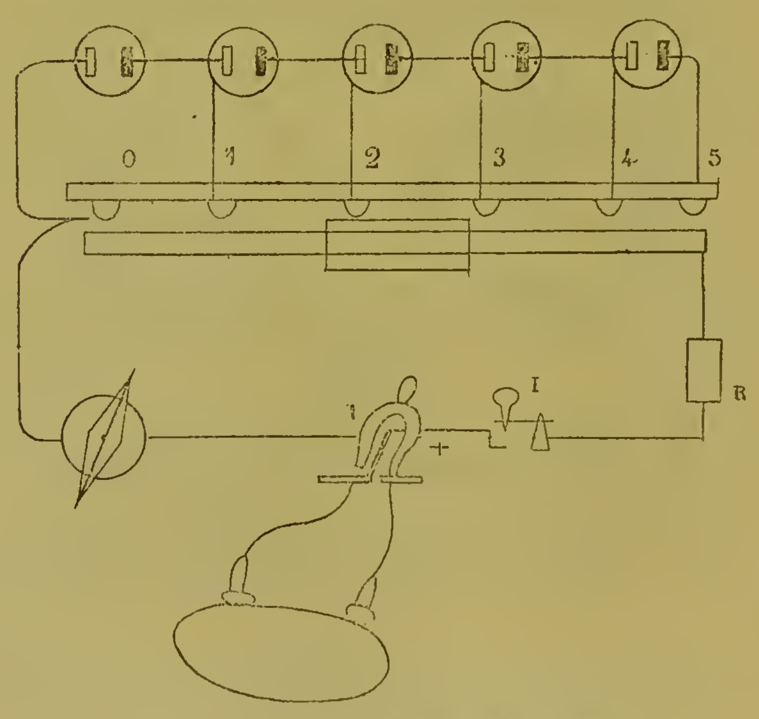


Fig. 114. — Schéma de la pile médicale.

On doit y joindre un rhéostat dont l'emploi est indispensable quand il s'agit d'opérer sur des régions voisines du cerveau.

Nous pouvons donc représenter le schéma de la pile par la figure 114, dans laquelle on retrouve, indépendamment de la pile, le collecteur simple, le rhéostat R, l'interrupteur I, le commutateur, le galvanomètre et les électrodes.

Si le médecin veut, à un moment donné, remettre en bon état de fonctionnement une pile qui ne marche plus, il faut que dans l'établissement de la pile et des accessoires il adopte les dispositions les plus simples, qu'il puisse se rendre compte à tout moment de l'état des fils qui relient

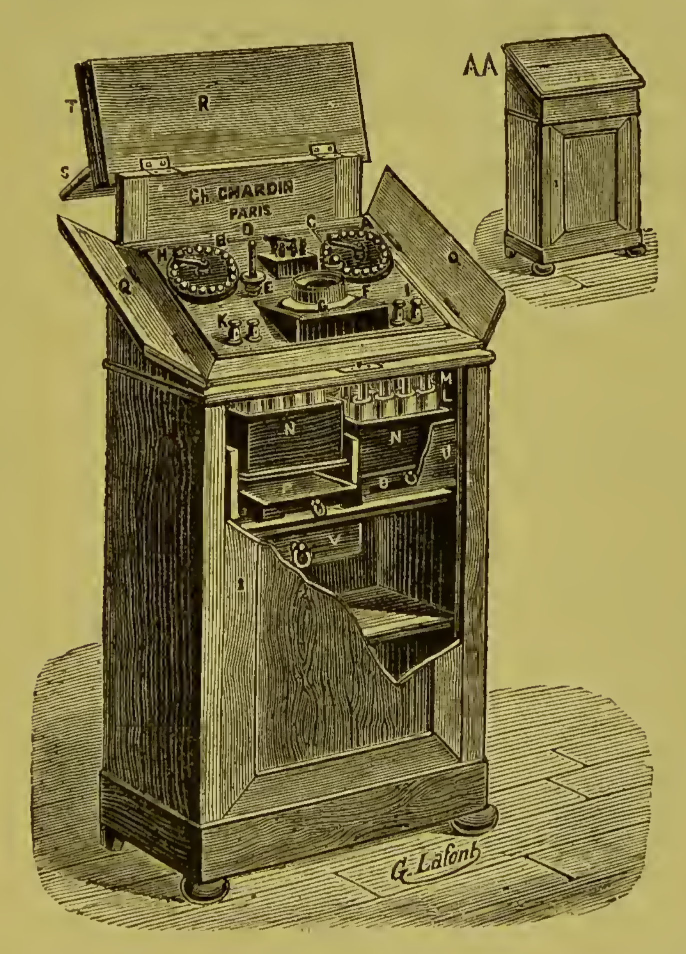


Fig. 115. — Meuble de cabinet de Chardin. A B collecteur. D commutateur. E interrupteur. G galvanomètre. I K bornes.

toutes les parties les unes aux autres, ainsi que de l'état des contacts.

Nous engageons les médecins à proscrire les meubles

de luxe dans lesquels on place les piles. Rien n'est plus simple que de les mettre sur des planches dans une pièce voisine du cabinet.

On peut toujours les surveiller et remédier rapidement à toute défectuosité. Des fils conducteurs établiront facilement les communications entre les piles et le collecteur. La table sur laquelle sont fixés les accessoires peut être aussi luxueuse qu'on le veut. L'important, c'est que les diverses pièces soient facilement à la portée du médecin, qu'elles ne soient pas les unes sur les autres. De cette façon on ne s'exposera pas à une fausse manœuvre. Il n'est pas besoin de dire que le galvanomètre doit être sous l'œil du médecin et qu'il doit être apériodique.

La figure 115 représente les meubles de cabinet adoptés par Chardin et Gaiffe.

CHAPITRE VI.

MESURES.

---

192. — Emploi du galvanomètre pour les mesures. — Un bon galvanomètre permet au médecin de déterminer non seulement l'intensité d'un courant, mais encore avec l'aide de quelques appareils accessoires les résistances et les forces électromotrices dont il peut avoir à se préoccuper.

193. — Détermination des résistances. — On peut avoir d'abord à déterminer la résistance d'un corps solide, d'un fil, d'une bobine. La détermination de la résistance du corps est aussi, comme nous le verrons, très importante.

On a recours à deux procédés généraux: 1° procédé par substitution ; 2° procédé du pont de Wheastone.

194. — Procédé par substitution. — La résistance à mesurer étant introduite entre deux points d'un circuit comprenant une pile et un galvanomètre, on observe une certaine déviation.

On substitue à cette résistance un rhéostat dont on fait varier la résistance jusqu'à ce que le galvanomètre indique la même déviation. La résistance mesurée sur le rhéostat est la résistance cherchée.

195. — Disposition d'Hirschmann. — Le constructeur Hirschmann, de Berlin, sur le conseil du professeur Eulenburg, dispose ses batteries de façon que l'opérateur peut très pratiquement déterminer la résistance du malade par la méthode de substitution (fig. 116).

Le courant fourni par la pile traverse le collecteur C et peut aller directement au malade en traversant le galvano-

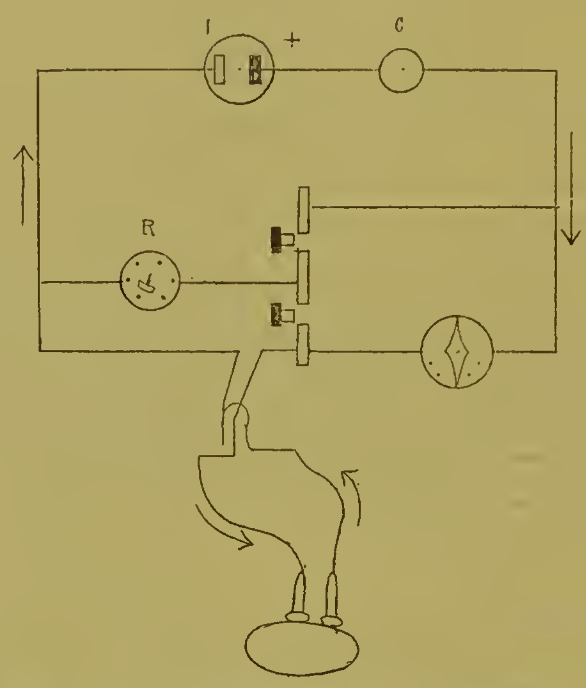


Fig. 116. — Schéma de la pile Hirschmann.

mètre et le commutateur. Pour un nombre d'éléments déterminé, on observe une certaine intensité, soit 5 milliampères. En R est un rhéostat relié au circuit principal et à une bande métallique qui présente deux solutions de continuité qu'on peut combler avec des chevilles métalliques. La bande métallique est en outre reliée au circuit principal.

Supposons qu'après l'observation de la déviation du galvanomètre on tourne le commutateur de façon que le courant ne puisse plus passer dans le corps. Si la cheville inférieure est mise en place, le courant fourni par le même nombre d'éléments passera dans le galvanomètre et dans le rhéostat qui se trouvera sur le circuit principal. La résistance du rhéostat qui ramènera l'aiguille à la division 5 milliampères sera la résistance cherchée, si on néglige la résistance des rhéophores et des électrodes.

La cheville supérieure a pour but, la cheville inférieure

étant enlevée, et le commutateur étant tourné de façon que le courant puisse traverser le malade, de mettre le rhéostat en dérivation. On peut alors s'en servir comme nous l'avons dit plus haut (pag. 156).

196. — Pont de Wheastone. — On appelle ainsi un appareil commode pour mesurer rapidement un certain nombre de résistances :

Considérons, pour comprendre sa disposition, un losange (fig. 117) formé par des bandes métalliques sans résistance appréciable présentant quatre solutions de continuité dans lesquelles on place : 1° la résistance à mesurer (en r_1) ; 2° deux résistances de rapport déterminé (r_2 r_4) ; 3° une résistance variable r_3, celle d'une boîte de résistances par exemple. Deux des sommets C, D opposés du losange étant réunis par un pont sur lequel se trouve un galvanomètre et les deux autres sommets A, B étant réunis aux deux pôles d'une pile P, N, on fait varier la résistance du rhéostat jusqu'à ce que l'aiguille du galvanomètre revienne au zéro. Il est facile de démontrer que la résistance cherchée r_1 est donnée par la formule :

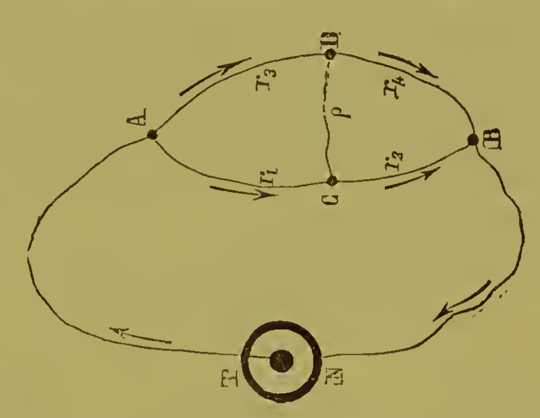


Fig. 117. — Schéma du pont de Wheastone.

$$r_1 \, r_4 = r_2 \, r_3$$

d'où :

$$r_1 = \frac{r_3 \times r_2}{r_4}$$

r_3 désignant la valeur de la résistance variable quand le galvanomètre est au zéro.

Cette formule s'établit facilement en considérant les circuits fermés ACD, BCD et en appliquant le deuxième principe de Kirchkoff (pag. 153).

Dans la pratique, on fait varier la résistance du rhéostat de façon que pour deux résistances différentes on ait deux déviations de l'aiguille du galvanomètre en sens contraire.

La résistance r_3 de la formule précédente est comprise entre ces deux résistances 100 et 150 ohms par exemple. On donne alors au rhéostat une résistance de 120 ohms par exemple. La résistance r_3 est comprise entre 100 et 120 ou 120 et 150 suivant que pour ces limites on a des déviations de même sens ou de sens contraire. Supposons qu'on ait deux déviations contraires pour 120 et 150 ohms, r_3 est comprise entre ces deux limites. On prendra une résistance de 130 ohms. Si on a deux déviations de sens contraire pour 120 et 130 ohms, r_3 est comprise entre ces deux limites. On comprend qu'en procédant ainsi de proche en proche on trouvera deux résistances du rhéostat, 125 et 126 par

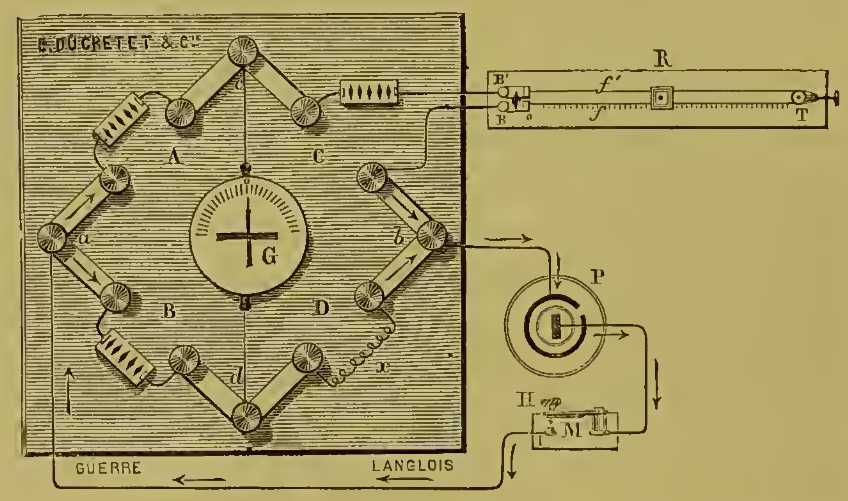


Fig. 118. — Pont de Wheastone construit par Ducretet. x est la résistance à déterminer; en A et en B sont les résistances de rapport connu; en C, se trouve la boîte de résistances avec le rhéocorde de Pouillet, R M clef de Morse qui permet de ne laisser passer le courant qu'au moment de l'observation.

exemple, pour lesquelles on aura des déviations de sens contraire.

En prenant pour R 125 et 126 on commettra sur r_3 une erreur moindre que 1 ohm, et l'erreur commise sur r sera

plus petite que 1 ohm $\times \frac{r_2}{r_4}$, rapport qu'on peut faire aussi petit qu'on le veut. On peut aussi en ajoutant à la boîte de résistances un rhéocorde de Pouillet, fig. 118 R et page 132, avoir exactement la résistance r_3 qui ramène au zéro l'aiguille du galvanomètre.

Dans l'emploi du pont de Wheastone, on évite la polarisation de la pile pendant l'expérience en disposant sur le circuit un interrupteur en H (fig. 118), de façon à ne faire passer le courant que pendant un temps très court. On peut aussi placer sur le pont CD qui renferme le galvanomètre un autre interrupteur, de manière à ne faire passer le courant dans le galvanomètre qu'au moment de l'obser-

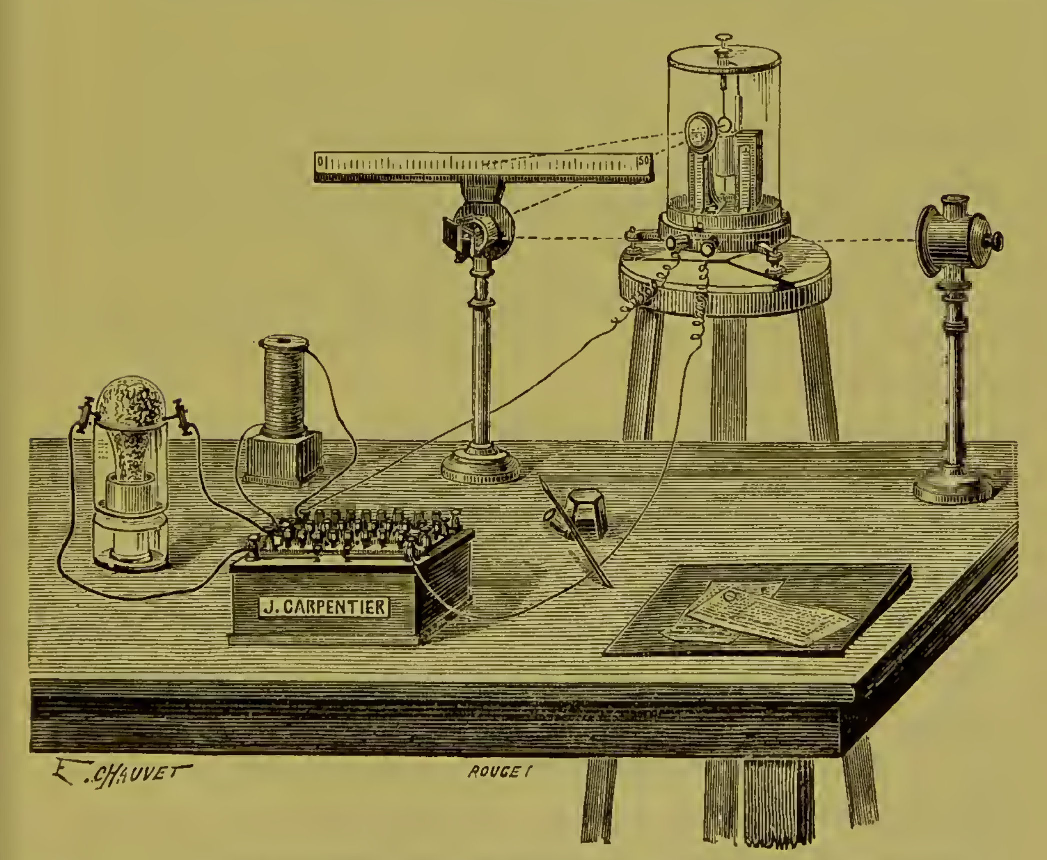


Fig. 119. — Détermination de la résistance d'une bobine par la méthode du pont de Wheastone.

vation. La fig. 119 représente une expérience de détermination de la résistance d'une bobine au moyen du pont de Wheastone. Le galvanomètre est un galvanomètre apério-

dique de Carpentier. La boîte de résistances est ce que l'on appelle une boîte à ponts. Elle renferme les résistances r_2 r_3 r_4 disposées comme dans le schéma de la fig. 117.

On remplace souvent l'appareil (fig. 118) par un autre appelé pont à curseur (fig. 120), constitué par un fil en

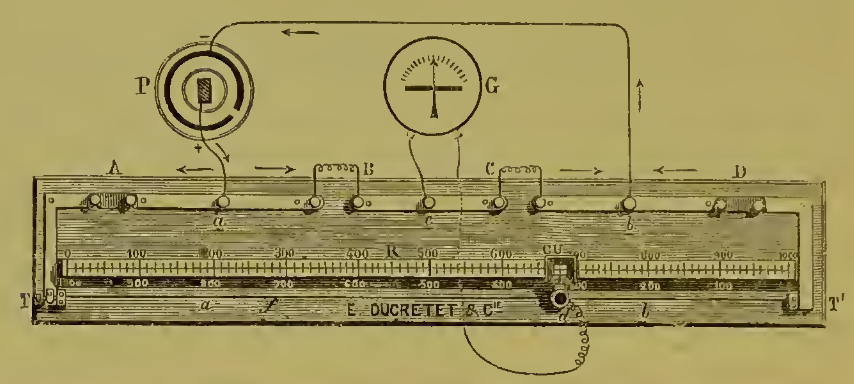


Fig. 120. — Pont à curseur construit par la maison Ducretet.

maillechort tendu sur une planchette le long d'une règle divisée en millimètres et relié à des bandes métalliques présentant des interruptions en B et C.

En B, on met la résistance à mesurer; en C, on dispose une boîte de résistances. Le courant d'une pile aboutit aux deux bornes *a* et *b*.

Le pont est formé par un fil conducteur sur lequel est un galvanomètre G. Les deux extrémités du fil aboutissent à une borne *c* et à un curseur CU qui se déplace le long du fil de maillechort.

Le contact est établi entre le curseur et le fil au moyen d'une clef à ressort *d* sur laquelle on presse au moment où on veut faire l'observation.

Un trait de repère placé sur le curseur indique par sa position sur la règle divisée les longueurs des deux portions du fil de maillechort limitées par le curseur. On donne à la résistance C une valeur déterminée et on fait glisser le curseur jusqu'à ce qu'en appuyant sur la clef *d*, l'aiguille reste au 0.

197. — Application médicale, Détermination de la résistance du corps au moyen du pont de Wheastone. — Le pont de Wheastone peut être employé pour obtenir une valeur approchée de la résistance entre deux points du corps (fig. 121). Pour cela, on relie les deux points considérés à

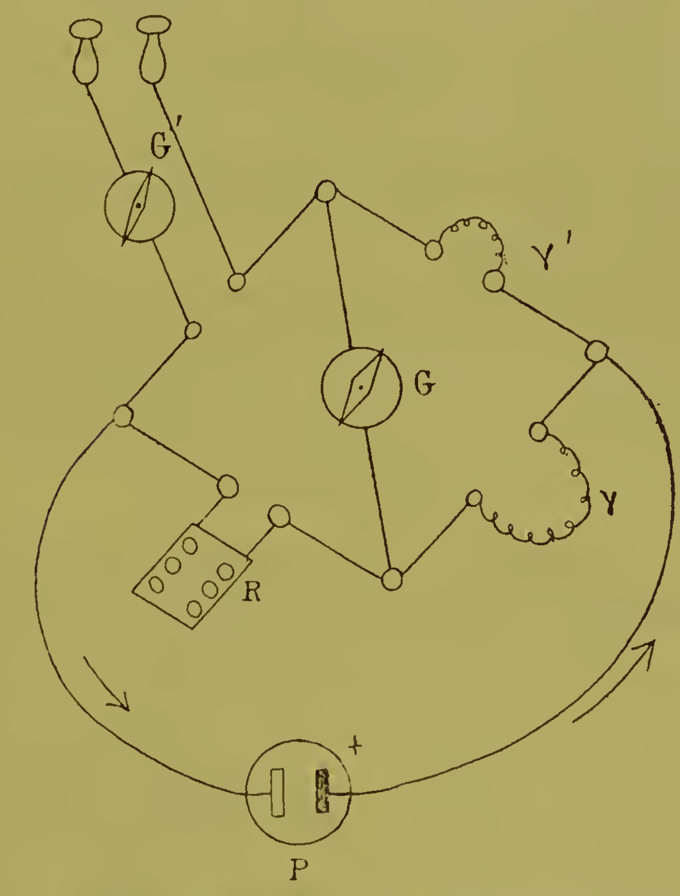


Fig. 121. — Schéma représentant la détermination de la résistance du corps au moyen du pont de Wheastone.

une des branches du pont au moyen des excitateurs et de fils conducteurs. Sur l'un de ces fils est disposé un galvanomètre G′ qui donne l'intensité du courant traversant le corps entre les excitateurs. En opérant comme précédemment on amène l'aiguille du galvanomètre G au zéro.

On a ainsi la résistance du corps augmentée de celle des fils des excitateurs et du galvanomètre qui le relie au pont.

On supprime les communications avec le corps et on met les excitateurs en contact. On obtient une nouvelle valeur de

la résistance qui représente la résistance du galvanomètre des fils et des excitateurs. La résistance du corps égale la différence des deux résistances mesurées dans les deux expériences successives.

Mais ce mode d'opérer présente une cause d'erreur. Le corps interposé entre les deux excitateurs constitue, comme nous le verrons, un électrolyte. L'électrolyse se produisant par suite du passage du courant, il survient des phénomènes de polarisation qui changent la valeur de la force électromotrice entre les deux points dont on veut mesurer la résistance.

On supprime cette erreur en remplaçant la pile par une bobine d'induction et le galvanomètre par un téléphone. On fait varier la résistance du rhéostat jusqu'à ce que le téléphone ne parle plus ou tout au moins de façon à rendre minimum le bruit perceptible à l'oreille.

198. — Résistance d'un liquide. — La résistance d'un conducteur liquide décomposable par le courant peut être obtenue par le procédé précédent.

On peut aussi employer la méthode suivante :

Le liquide est contenu dans un vase ayant une forme géométrique bien déterminée (fig. 122). C'est par exemple une éprouvette cylindrique ayant une section connue. Le courant entre par une lame métallique L' et il sort par une lame L qu'on déplace à volonté. Sur le circuit sont disposés, indépendamment du vase précédent, un galvanomètre et un rhéostat. La distance qui sépare la tige de la lame étant l, la résistance du liquide est r.

Fig. 122. — Détermination de la résistance d'un liquide.

Soit alors R la résistance du rhéostat, ρ celle des autres parties du circuit, E la force électromotrice, qui est ici la différence entre la force électromotrice de la pile et la force électromotrice de polarisation, i étant l'intensité donnée par le galvanomètre, on a :

$$i = \frac{E}{R + \rho + r}$$

On enfonce la tige métallique de façon que la longueur du liquide traversée par le courant soit l', r' étant sa nouvelle résistance, l'intensité du courant augmente, la résistance ayant diminué ; mais en augmentant la résistance du rhéostat qui deviendra R', on ramènera l'intensité à ce qu'elle était d'abord ; on aura donc :

$$i = \frac{E}{R' + r' + \rho}$$

En comparant les deux égalités précédentes, on voit que $R + r = R' + r'$. Donc $r\text{-}r' = R'\text{-}R$. On connaît ainsi $r\text{-}r$, qui est la résistance d'un cylindre formé par le conducteur liquide de longueur $l\text{-}l'$ et de section connue s.

Dans certains cas, on évite les phénomènes de polarisa tion en faisant plonger dans le liquide électrolysable des électrodes formées avec le métal de la solution saline en dissolution. C'est ainsi qu'on pourra déterminer sans erreur la résistance d'une solution de sulfate de cuivre, d'azotate d'argent, en prenant pour électrodes des lames de cuivre ou des lames d'argent.

199. — Méthode de M. Lippmann. — Le liquide est placé dans un tube de section déterminée, traversé par 2 fils de platine. On le place dans un circuit qui comprend en outre une pile et un rhéostat.

Les fils de platine étant en communication avec un électromètre, on observe une certaine force électromotrice e. On met le même électromètre en communication avec les

deux bornes du rhéostat dont la résistance connue est R. On observe une autre force électromotrice E.

L'intensité I du courant étant constante dans tous les points du circuit, on a en désignant par x la résistance inconnue du liquide :

$$I = \frac{e}{x} = \frac{E}{R} \qquad \text{d'où : } x = \frac{e}{E} \times R.$$

Avec l'électromètre, on opère toujours à circuit ouvert. Il n'y a donc pas à craindre les phénomènes de polarisation.

200. — Résistances des solides et des liquides. — C'est par les méthodes précédentes qu'on a trouvé les résistances d'un grand nombre de corps solides et liquides.

En représentant par 1 la résistance du mercure, on trouve que les résistances d'un certain nombre de corps sont représentées par les nombres suivants sous la même longueur et la même section :

Mercure	1
Argent	0,017
Cuivre	0,018
Zinc	0,057
Platine	0,092
Fer	0,099
Charbon de cornue	40,000
Acide sulfurique concentré	47,000
Acide azotique du commerce	18,000
Sulfate de zinc en solut. concentrée	28,000
Sulfate de cuivre —	306,000
Eau distillée	120,000,000

Ces nombres sont souvent appelés les résistances spécifiques de ces divers corps.

Ainsi, la résistance d'une colonne de mercure de 1^{mmq} de section et de $1^m,06$ de longueur étant égale à 1 ohm, la résistance d'une colonne d'argent de mêmes dimensions sera 0 ohm, 017, et ainsi de suite.

On remarque que les métaux et le charbon ont une faible résistance spécifique. Les acides ont une résistance beaucoup plus grande. Enfin, ce sont les solutions salines qui présentent la plus grande résistance. Cette résistance varie du reste avec le degré de concentration.

La résistance varie aussi avec la température.

Les corps solides ont en général une résistance qui augmente avec la température, tandis que les liquides ont une résistance décroissante, quand la température s'élève. C'est pour mettre à profit cette diminution de résistance due à l'élévation de température que certains médecins mouillent toujours leurs excitateurs avec de l'eau chaude.

La grande résistance des solutions salines explique pourquoi on les emploie dans la construction de certains rhéostats. Cette grande résistance permet d'obtenir avec une petite longueur d'une solution de sulfate de cuivre une résistance aussi grande que celle qu'on obtiendrait avec un fil de cuivre de plusieurs centaines de mètres de longueur.

On peut, en s'appuyant sur le tableau précédent, trouver la résistance d'un corps de la liste sous une longueur et sous une section déterminées. Ainsi, nous avons dit que la résistance d'un fil de cuivre de $1^{m},06$ de longueur et de 1^{mmq} de section est de 0 ohm, 018.

Pour avoir la résistance d'un fil de cuivre de longueur et de section déterminées, nous nous rappellerons que la résistance est proportionnelle à la longueur et varie en raison inverse de la section; il en résulte que la résistance d'un fil de cuivre de 1 mèt. de longueur et de 1^{mmq} de section est : $\frac{0^{ohm},018}{1^{m},06}$. Si la longueur du fil est l mètres et la section s, la résistance sera :

$$\frac{0^{ohm},018}{1^{m},06} \times \frac{l}{s}.$$

Si on voulait trouver la longueur qu'il faut prendre

d'un fil de cuivre de 1^{mmq} de section pour avoir une résistance de 1,000 ohms, on écrirait :

$$\frac{0^{ohm},018}{1,06} \times \frac{l}{1} = 1000$$

d'où : $$l = \frac{1060}{0,018} = 58888 \text{ millim.}$$

Pour trouver la longueur d'une colonne de sulfate de cuivre ayant une résistance équivalente, on écrirait :

$$\frac{288000}{1,06} \times l' = 1000$$

$$l = \frac{1060}{288000} = 3 \text{ millim.}$$

201. — Applications médicales. Résistance des tissus et du corps humain. — Les résistances qui intéressent spécialement le médecin sont les résistances des divers tissus de l'organisme.

202. — Résistance des tissus. — Eckardt a étudié la résistance des divers tissus par la méthode de substitution et en se mettant à l'abri des causes d'erreur dues à la polarisation.

En représentant par 1 la résistance spécifique des muscles il a trouvé pour les divers tissus les nombres suivants :

Muscles 1. — Tendons 1, 8 à 2, 5. — Nerfs 1, 6 — 2, 4. — Cartilages 1, 8 à 2, 3. — Os 16 à 22.

Il chercha aussi la richesse en eau des divers tissus et trouva :

Muscles 72 à 78 °/₀. — Tendons 62 °/₀. — Cartilages 70 à 75 °/₀. — Nerfs 39 à 66 °/₀. — Os 3 à 7 °/₀ (Diaphyses). — 12 à 20 °/₀, Epiphyses.

Il en conclut qu'on pourrait ranger les tissus dans le même ordre, qu'on les étudie, au point de vue de leur résistance spécifique ou de leur teneur en eau.

On voit également que les résistances des divers tissus

sont, à l'exception des os, très sensiblement les mêmes et au point de vue pratique on peut les considérer comme égales.

Si on compare ces résistances à celle du mercure on trouve des nombres voisins de 250,000, c'est-à-dire du nombre qui exprime les résistances des solutions salines, sulfate de zinc, de cuivre, etc.

203. — Résistance de l'épiderme. — Cette résistance est la plus intéressante pour le médecin puisque le courant doit traverser l'épiderme avant d'atteindre les parties malades sur lesquelles il doit agir spécialement.

L'épiderme, absolument sec, est un corps isolant qui ne laisse pas passer le courant. Lorsqu'il est mouillé sa résistance est encore très grande par rapport à celle des autres tissus.

C'est ce que montre l'expérience suivante de Jolly.

A l'aide de deux petits vésicatoires il enleva l'épiderme, sur une surface de 4 centim. q, des deux bras d'une jeune fille. Des électrodes impolarisables ayant été placées sur la peau ainsi dénudée, il trouva que la résistance totale d'une électrode à l'autre était de 1460 unités Siemens. En en déduisant la résistance des électrodes, 820 unités Siemens, il restait pour la résistance du corps entre les électrodes, abstraction faite de la résistance de l'épiderme, 640 unités Siemens.

Or la résistance totale déterminée dans les conditions ordinaires, les électrodes étant sur l'épiderme, fut trouvée égale à 190,000 unités Siemens. La résistance des deux couches épidermiques traversées par le courant est donc 190,000-1460 ou 188540 unités Siemens.

Ainsi la résistance de chaque couche d'épiderme est de 94270 unités Siemens, c'est-à-dire qu'elle est sensiblement 150 fois la résistance du reste du corps.

A cause de la grande résistance de l'épiderme on peut dire que ce que l'on appelle résistance du corps humain, c'est

la résistance des deux couches épidermiques que le courant doit traverser pour se porter d'une électrode à l'autre.

204. — Résistance du corps humain. — Cette résistance a d'abord été déterminée par la méthode de substitution.

Les électrodes étant placées sur la peau, on les mettait dans le circuit d'une pile qui comprenait un galvanomètre.

On observait une certaine déviation. On substituait au corps un rhéostat, dont on faisait varier la résistance jusqu'à ce que l'aiguille du galvanomètre accusât la même déviation. La résistance du rhéostat était considérée comme étant égale à celle du corps.

C'est ainsi qu'ont été obtenus les nombres suivants :

Remack 1000-5000	unités Siemens.
Kohlrausch 1600	—
Runge 2000-5000	—
Rosenthal 2180-9800	—
Pouillet 1094	—
Weber 900000	—

On voit combien ces nombres sont différents. Nous allons voir en effet que cette résistance varie avec un grand nombre de circonstances et qu'il est difficile aux observateurs d'opérer dans les mêmes conditions.

A. *La résistance varie en divers points du corps.* — On place une électrode indifférente de 100 c. q. au niveau de la région lombaire et on prend l'électrode de Stintzing de 3 c. q. comme électrode active.

On emploie un courant de 25 éléments. Les électrodes sont toujours également mouillées, et appliquées avec la même pression. L'électrode de Stintzing étant appliquée successivement à la paume de la main, au pli du coude, à la partie postérieure de l'avant-bras l'aiguille du galvanomètre indique 0 mill. amp. 25, 2 mill. amp. 5 et 1 mill. amp. 5 (Pierson-Sperling).

Ces variations sont bien dues aux variations de résistance

de l'épiderme, car si au lieu de prendre une électrode normale de Stintzing on prend une aiguille à acupuncture qu'on enfonce dans la peau, l'aiguille du galvanomètre subit toujours à peu près la même déviation quelle que soit la région soumise à l'observation.

B. *La résistance varie avec le nombre des éléments employés.* — C'est ainsi que de Watteville, employant les mêmes électrodes bien mouillées, appliquées sur les mêmes régions de la peau, a trouvé que son galvanomètre marquait 2-5-8,5 et 11,5 milliampères avec des courants fournis par 3, 6, 9, 12 éléments Leclanché.

La résistance des éléments de grande surface et du galvanomètre étant faible par rapport à celle du corps, la formule de Ohm qui est ici applicable est $I = \frac{nE}{R}$ n représentant le nombre des éléments employés, E leur force électromotrice, R la résistance du corps les autres résistances étant négligées.

Si cette résistance reste constante, l'intensité I indiquée par le galvanomètre doit devenir 2, 3 fois plus grande quand le nombre des éléments devient 2, 3 fois plus grand. Par conséquent on aurait dû obtenir successivement 2 — 4 — 6 — 8 milliampères ou des nombres voisins. Les nombres trouvés étant plus grands, il faut conclure que la résistance du corps diminue quand le nombre des éléments augmente.

C. *La résistance varie avec la durée d'application du courant.*

Supposons, comme dans un exemple précédent (203), que l'électrode indifférente étant au niveau des lombes l'autre électrode soit sur la partie postérieure du bras, nous trouvons au début une intensité de 2, 5 mill. amp. L'intensité augmente rapidement et au bout d'une minute elle peut être de 5 mill. amp.

Cette variation de la résistance ne s'observe cependant pas partout. C'est ainsi que, si l'électrode active est à la

paume de la main, l'aiguille du galvanomètre accuse la même déviation 0 mill. amp. 25 au début de l'expérience et deux minutes après.

D. *La résistance varie encore avec la nature du liquide qui mouille l'électrode, avec sa température, avec les dimensions des électrodes, avec leur pression.*

Nous avons dit que l'épiderme sec est absolument isolant, mais dans l'organisme l'épiderme n'est jamais sec. Il est traversé par les vaisseaux excréteurs des glandes sudoripares et sébacées. C'est par le liquide qui remplit les vaisseaux microscopiques que passe le courant si on applique sur la peau une électrode métallique.

Si l'électrode est mouillée, le courant suit d'abord le même chemin et la résistance est d'abord très grande, mais peu à peu l'épiderme s'imprègne de liquide et le courant passe plus facilement. C'est une des raisons qui expliquent la diminution de résistance quand le courant passe un certain temps.

D'autres causes interviennent également. Nous verrons en effet que le courant transporte les liquides qu'il traverse de l'électrode positive à l'électrode négative, ce qui facilite l'imprégnation de l'épiderme. On admet en outre que le courant paralyse les vaso-moteurs, ce qui augmente le calibre des vaisseaux sanguins et lymphatiques que suit le courant lorsqu'il a traversé l'épiderme. Ce sont autant de conducteurs dont la section augmente. Leur résistance diminuant, l'intensité du courant augmente.

On comprend, pour des raisons analogues, que plus la surface des électrodes est grande, plus il y a de points par lesquels peut pénétrer le courant, ce qui diminue la résistance. En pressant les électrodes avec plus ou moins de force on fait varier la résistance en faisant varier les surfaces d'entrée et de sortie du courant. Le liquide dont l'électrode est imprégnée pénétrant dans les couches épidermiques superficielles, sa résistance, qui varie avec sa

nature et sa température, intervient pour faire varier la résistance totale.

205. — RECHERCHES RÉCENTES.— Les premières déterminations de résistance ont été faites, nous l'avons dit, par la méthode de substitution.

Dans la plupart des cas on n'a pas même déterminé la résistance absolue. On s'est contenté de déterminer les résistances relatives en observant les déviations du galvanomètre lorsque l'électrode active était placée sur les diverses régions dont on voulait comparer les résistances.

Dans deux observations successives, le courant étant fourni par la même pile, on a pour les valeurs des intensités :

$$I = \frac{E}{R} \qquad I' = \frac{E}{R'}$$

d'où :

$$\frac{I}{I'} = \frac{R'}{R}$$

$\frac{I}{I'}$ est déterminé par le galvanomètre, on a ainsi $\frac{R'}{R}$ qui est le rapport des résistances cherchées si on néglige la résistance des autres parties du circuit devant celle du corps.

Dans ces derniers temps Gärtner, Rosenthal, Eulenbourg, Jolly, ont déterminé la résistance du corps humain en employant la méthode du pont de Wheastone.

Des recherches de Gärtner[1], il résulte que la résistance est beaucoup plus grande que celle qui avait été trouvée au moyen de la méthode de substitution. En se servant d'un courant faible, d'électrodes impolarisables, dont la surface était égale à 12 c. q. 75, il a trouvé que, les électrodes étant placées sur les avant-bras, la résistance variait de 100000 à 300000 unités Siemens. Elle pourrait atteindre 400,000 unités d'après Jolly. Ces nombres sont bien différents de ceux trouvés par Remak, qui estimait que la résistance variait de 2000 à 6000 unités Siemens.

[1] Gärtner ; *Wiener med. Jahrbücher*, 1882, nº 4.

Il résulte aussi de ces recherches que la résistance n'est pas la même chez deux individus différents, les électrodes occupant les mêmes positions et que chez le même individu la résistance varie également.

De plus, contrairement à l'opinion généralement reçue que le maximum de résistance correspond aux endroits où la peau est épaisse, tels que la plante des pieds ou la paume des mains, ce serait la peau du visage, la peau des tempes qui présenterait le maximum de résistance.

Jolly fait remarquer que les premiers observateurs se servaient de galvanomètres dans lesquels l'aiguille oscillait un certain temps avant d'atteindre sa position d'équilibre; ils commettaient nécessairement des erreurs dans la détermination de la résistance.

Au moment où l'aiguille se fixait, la résistance sous l'influence des causes signalées plus haut avait considérablement diminué. La peau s'était imprégnée de liquide, directement et par le fait du transport mécanique des liquides dans le sens du courant. Les vaisseaux s'étaient dilatés. Pour toutes ces raisons, la résistance avait diminué.

C'est ainsi que Jolly[1], plaçant les électrodes sur les joues d'une jeune fille de 19 ans, trouvait immédiatement après l'application des électrodes une résistance de 160000 unités Siemens avec un courant de 4 milliampères. Une minute après, cette résistance n'était plus que de 5000 unités Siemens. Chez le même individu, les électrodes étant sur les tempes, la résistance descendait de 180000 à 1100 unités Siemens. Les électrodes étant placées sur les avant-bras, la résistance descendait de 440000 à 41000 unités Siemens; les électrodes étant sur les paumes des mains, la résistance variait seulement de 30000 à 28000 unités Siemens. Ainsi donc la résistance initiale de la paume de

[1] Jolly; *Untersuch. über den elektrischen Lestingswiderstand des menschlichen korpers* 1884.

la main est moindre que celle des autres régions du corps, mais elle diminue beaucoup moins.

Il y a donc toujours à considérer deux résistances : la résistance initiale et la résistance qui s'établit quelques instants après.

Cette dernière est la résistance modifiée par les actions physiques et physiologiques qui accompagnent le passage du courant. Ces actions n'étant pas les mêmes pour toutes les régions de la peau on comprend pourquoi les variations de la résistance ne sont pas partout les mêmes.

La diminution de résistance produite par le passage du courant galvanique se manifeste aussi sous l'action du courant faradique.

Cette diminution est généralement moindre avec le second courant qu'avec le premier. Il n'y a d'exception qu'à la paume de la main et à la plante des pieds. Le courant faradique produit dans ces régions une diminution de résistance plus grande que le courant galvanique.

Des recherches faites dans ces dernières années par Stintzing et Groeber [1] ont établi que la diminution de résistance avec le temps suivait une loi assez régulière.

A. De très faibles courants galvaniques de 0 à 0,5 milliampères produisent, dans les premières minutes qui suivent l'application des électrodes, une diminution rapide de la résistance. Elle demeure ensuite sensiblement constante et passe par un minimum relatif.

B Avec de faibles courants de 0,5 à 5 milliampères l'abaissement de la résistance est plus rapide que dans le premier cas. Elle diminue ensuite avec une telle lenteur qu'au point de vue pratique on peut la considérer comme constante, c'est un minimum relatif. Il est très facile de se placer dans ces conditions et d'évaluer le minimum de résistance relatif qui s'établit très rapidement.

C. De forts courants de 5 à 15 milliampères amènent la résistance en quelques minutes à un minimum absolu.

[1] *Deutsches Archiv. für Klinische Medezin* (1887).

Mais on ne peut pas dans tous les cas avoir recours à des intensités aussi élevées.

En se plaçant dans les conditions du deuxième cas, Eulenburg a déterminé le minimum de résistance relatif à la tête Il a trouvé que chez les individus bien portants cette résistance variait de 1,200 à 1,600 ohms. Elle est un peu plus élevée chez les femmes et chez les enfants.

206. — Résistance des os du crane et de la colonne vertébrale. — On a cru longtemps que les os du crâne et de la colonne vertébrale offraient au courant une résistance insurmontable et qu'il était par suite impossible de faire arriver le courant sur le cerveau et sur la moelle épinière. C'était l'opinion de Remack, de Bénédickt, de Hitzig, de Ziemssen.

Erb[1] fit remarquer que l'observation microscopique des os du crâne et des vertèbres montre qu'ils sont traversés par de nombreux vaisseaux sanguins par lesquels le courant peut très bien passer.

Les expériences qu'il a entreprises ont démontré d'une façon incontestable que des courants ayant même intensité que ceux qu'on emploie en thérapeutique pénètrent dans le cerveau et la moelle épinière quand les électrodes sont appliquées sur la peau du crâne et du dos.

Il détachait d'un cadavre une rondelle du crâne, de façon à mettre à nu le cerveau. Une patte galvanoscopique était placée sur le cerveau. Les électrodes étaient placées sur les régions temporales. Il constatait qu'à chaque ouverture ou à chaque fermeture du courant la patte était agitée.

Une expérience analogue démontre le passage du courant à travers la moelle.

Burckhardt[2] puis Ziemssen ont fait la même démonstration en se servant du galvanomètre.

[1] *Deutsche Archiv. für Klinische Medezin*, 1867.
[2] *Ueber die polar. Methode D. Arch. f. klin. med.*, 1870.

Ils perçaient des trous sur les os du crâne ou de la colonne vertébrale par lesquels ils faisaient passer des aiguilles isolées jusqu'à leurs extrémités par de la gomme laque. Les électrodes étant appliquées sur la peau du crâne et du dos, ils purent recueillir des courants de dérivation dans un galvanomètre dont les bornes étaient reliées aux aiguilles.

Nous avons dit déjà que Burckhardt avait pu ainsi observer que les courants de diffusion obéissaient aux lois des courants dérivés.

Burckhardt, ayant pratiqué sur un cerveau de cadavre la circulation artificielle avec de l'eau salée, constata que l'intensité des courants dérivés était beaucoup plus grande. De là cette conclusion que les courants sur le cerveau vivant, dont la circulation est si active, sont beaucoup plus intenses que ceux qu'on peut observer sur le cadavre.

207. — Résistance dans les cas pathologiques. — Le courant ayant traversé l'épiderme se diffuse surtout par les vaisseaux sanguins et lymphatiques.

Toute modification dans le calibre de ces vaisseaux dans la masse liquide qui les remplit rend le passage du courant plus ou moins difficile.

Elle sera donc accusée par des variations de résistance.

Eulenburg[1], en employant des courants d'intensité moyenne de 0,5 à 5 milliampères, a constaté que le minimum relatif de résistance, qui est en moyenne de 1200 à 1600 ohms, s'élève à 3000 ohms aussi bien dans certaines lésions du cerveau (encéphalite, sclérose, tumeurs) que dans certains troubles fonctionnels (hystérie, hémicrânie, maladie de Basedow, chorée, mélancolie). Il a également constaté cette augmentation de résistance dans l'épuisement nerveux et l'anémie générale. Dans l'hyperémie du cerveau la résistance était au-dessous de la normale. On pourrait d'après Eulenburg se renseigner sur l'état de la

[1] Eulenburg; *Ztsch. f. Klin. Med*, Band XII.

circulation du cerveau et de la moelle par des déterminations de résistance.

Le Dr R. Vigouroux[1] a également signalé les variations de la résistance dans l'hystérie et la maladie de Basedow. Il prend la résistance comme nous le dirons bientôt, l'un des tampons étant sur le sternum, l'autre à la nuque. En employant dix éléments il trouve que la résistance relative minimum est diminuée dans la maladie de Basedow et augmentée dans l'hystérie.

L'étude des modifications de la résistance dans les divers états pathologiques n'est encore qu'ébauchée. On vient de voir que la détermination de la résistance permet de distinguer la maladie de Basedow de l'hystérie. Il est permis de croire que dans bien des cas la détermination de la résistance pourrait servir à éclairer et à confirmer un diagnostic[2].

208. — Résistance d'une pile et d'un galvanomètre. — Le médecin et le physiologiste peuvent également avoir besoin de déterminer ces deux résistances. Nous indiquerons seulement les procédés qui nous paraissent les plus commodes.

Pour obtenir la résistance d'une pile, on emploie la méthode de Mance (fig. 123).

La pile est placée en P sur l'une des branches au pont de Wheastone B D; en r et r' sont deux résistances d'un rapport connu ; en R' est un rhéostat.

Le pont BC est formé par un fil conducteur s sur le trajet duquel est un interrupteur.

Enfin le galvanomètre G est relié aux deux sommets A et D du losange. Le courant dérivé dans le galvanomètre imprime à l'aiguille une déviation dans un sens; on appuie sur le bouton de l'interrupteur de façon à relier métalliquement les deux points B et C.

[1] Vigouroux ; *Prog. méd.*, 1888.
[2] Voir pour le résumé de la question Dr Castex ; *Résistance des tissus et du corps humain.* Montpellier, 1892.

Généralement, la déviation est modifiée dans un sens. On modifie la résistance R′ jusqu'à ce qu'en appuyant sur

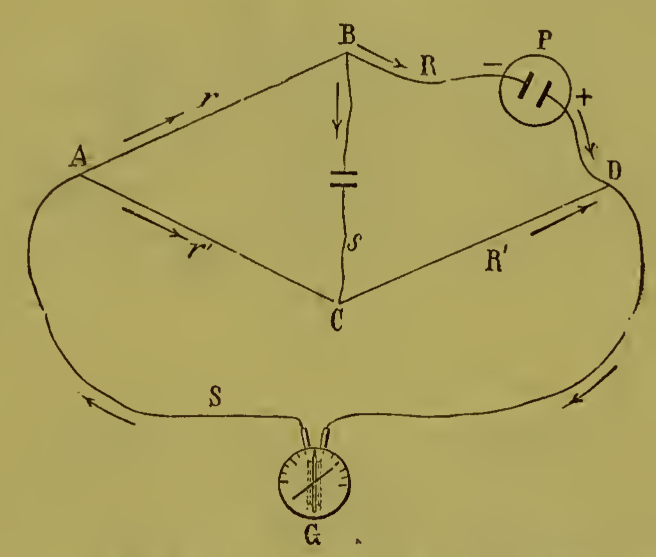


Fig. 123. — Schéma de la détermination de la résistance d'une pile, méthode de Mance.

l'interrupteur l'aiguille soit déviée en sens contraire à partir de la position d'équilibre qu'elle prend sous l'action du courant. En continuant à opérer de la même façon, on rapproche les résistances pour lesquelles l'aiguille est déviée en sens opposé quand on appuie sur l'interrupteur. On arrive ainsi à obtenir une résistance R′ pour laquelle, en appuyant sur l'interrupteur, la déviation de l'aiguille n'est pas modifiée. R′ étant cette résistance, on démontre que la résistance R de la pile est liée aux résistances connues par relation :

$$Rr' = R'r; \text{ d'où } R = R' \times \frac{r}{r'}.$$

Si ce résultat ne peut pas être obtenu, on trouve deux résistances R′ et R′ + I différant l'une de l'autre de 1 ohm. La valeur de R obtenue en remplaçant dans l'expression précédente R′ par ces deux valeurs sera donnée avec une erreur moindre que 1 ohm $\times \frac{r}{r'}$, qui sera d'autant plus petite que le rapport $\frac{r}{r'}$ sera plus petit.

La résistance d'un galvanomètre se détermine par la méthode de Thompson (fig. 124), qui ne diffère de la mé-

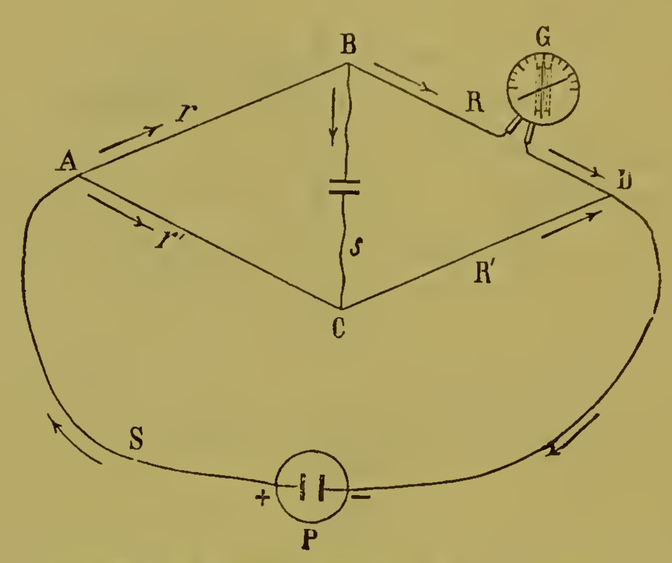


Fig. 124. — Schéma de la détermination de la résistance d'un galvanomètre, méthode de Thompson.

thode de Mance que par la substitution du galvanomètre à la pile et de la pile au galvanomètre dans la disposition précédente. On opère tout à fait de la même façon que dans la méthode de Mance, et la résistance R du galvanomètre est encore donnée par la formule : $R = R' \frac{r}{r'}$, R' étant toujours la valeur de la résistance du rhéostat pour laquelle en appuyant sur l'interrupteur, on ne modifie pas la déviation de l'aiguille du galvanomètre.

209. — Mesure des quantités d'électricité. — Le galvanomètre peut encore être utilisé pour déterminer les quantités d'électricité.

Lorsque le courant d'une pile traverse un galvanomètre non apériodique, l'aiguille est déviée, subit des oscillations plus ou moins nombreuses, puis se fixe, et c'est la déviation qui correspond à la position d'équilibre de l'aiguille qui sert à mesurer l'intensité.

Mais on peut également faire traverser le galvanomètre par un courant instantané tel que le courant qui correspond

à la décharge d'une bouteille de Leyde ou de tout autre condensateur.

On démontre que dans ce cas les déviations initiales, qu'on appelle les impulsions, pourvu qu'elles soient petites, et cela est toujours facile à obtenir en shuntant convenablement le galvanomètre, sont proportionnelles aux quantités d'électricité. Si q et q' représentent les quantités d'électricité qui ont traversé le galvanomètre, α et α' les déviations correspondantes :

$$\frac{q'}{q} = \frac{\alpha'}{\alpha}$$

En s'appuyant sur ce principe, on déterminera la quantité d'électricité qui se trouve sur un corps conducteur, en le mettant en communication avec une des bornes du galvanomètre, dont l'autre borne communique avec le sol. Le conducteur et le sol étant à des potentiels différents, un courant instantané se produit, qui passe dans le galvanomètre et donne naissance à une certaine déviation : 5° par exemple.

D'autre part, on charge un condensateur de capacité connue, un microfarad par exemple, en le mettant en communication avec une pile de force électromotrice connue, soit 5 volts ; puis, déchargeant le condensateur à travers le galvanomètre, on a une autre déviation : 20° par exemple.

La quantité d'électricité qui se trouve dans le condensateur étant le produit de la capacité par le potentiel (pag. 43) sera égale à :

$$0,000001 \times 5 = 0,000005 \text{ coulomb.}$$

Donc, en vertu de la relation précédente :

$$\frac{0,000005}{q} = \frac{5}{10} \text{ et } q = 0,0000025 \text{ coulomb.}$$

Le galvanomètre employé pour déterminer les quantités d'électricité par la mesure des angles d'impulsion est souvent désigné sous le nom de galvanomètre balistique.

210. — Mesure des capacités. — Le galvanomètre balistique peut également être utilisé pour la mesure de la capacité d'un condensateur.

Pour cela, le condensateur est chargé avec une pile constante. On le décharge à travers le galvanomètre. On a une impulsion de 5° par exemple. On met la même pile en communication avec un condensateur de capacité connue, un microfarad par exemple.

La décharge du condensateur à travers le galvanomètre donne une déviation de 10° par exemple.

V étant la force électromotrice de la pile, x la capacité cherchée, le condensateur a déchargé à travers le galvanomètre une quantité d'électricité égale à x V, de même que la charge cédée par le microfarad a été 1 microfarad $\times$ V. Donc, en vertu de la relation précédente :

$$\frac{x\,\mathrm{V}}{1\ \text{microfarad} \times \mathrm{V}} = \frac{5}{10}$$

d'où :

$$x = \frac{5}{10} = \frac{1}{2}\ \text{microfarad}.$$

211.— Détermination de la force électromotrice. — La force électromotrice d'une pile se détermine simplement par la méthode de Fechner. Considérons un galvanomètre relié à une pile de force électromotrice E. Soit r la résistance de la pile et R la résistance du galvanomètre et des autres parties du circuit. L'intensité i du courant est donnée par la formule :

$$i = \frac{\mathrm{R} + r}{\mathrm{E}}$$

Pour un autre élément de force électromotrice égale à E′, de résistance r', on aura avec le même galvanomètre, les autres parties du circuit étant les mêmes :

$$i' = \frac{\mathrm{R} + r'}{\mathrm{E}'}.$$

Mais si la résistance R est suffisamment grande pour que r et r' soient négligeables devant R, on a :

$$i = \frac{E}{R} \qquad i' = \frac{E'}{R}$$

Donc : $\frac{E'}{E} = \frac{i'}{i}$ et : $E' = E \times \frac{i'}{i}$ (1).

Cette méthode exige que l'on ait à sa disposition des éléments dont la force électromotrice E soit connue, ce qu'on appelle des étalons de force électromotrice.

L'élément Daniell pourrait être utilisé si sa force électromotrice ne subissait pas des variations.

On emploie ordinairement comme couple étalon l'élément Latimer Clarck, dont la force électromotrice, 1 volt 435, est sensiblement indépendante de la température.

On le construit en mettant dans un petit flacon du mercure pur dans lequel plonge un fil de platine protégé par un tube de verre. Ce fil sort du flacon et correspond au pôle positif. Au-dessus du mercure, on met une pâte constituée par du sulfate mercureux qu'on a fait bouillir avec une solution saturée de sulfate de zinc. Dans cette pâte plonge une lame de zinc qui représente le pôle négatif. On ferme le flacon en coulant sur la pâte mercurielle une couche de paraffine.

Pour appliquer la méthode précédente, on met l'élément en communication avec un galvanomètre, le circuit comprenant une boîte de résistances. On fait varier la résistance jusqu'à ce qu'on obtienne une déviation de 143,5 divisions. Un autre élément étant mis à la place du Latimer Clarck, la déviation exprimera immédiatement la force électromotrice en 1/100 de volts.

Ce rapport des intensités $\frac{i'}{i}$ étant en effet le même que celui des déviations, si d' représente la déviation observée pour une pile de force électromotrice inconnue E', on a en appliquant la relation (1) :

$$E' = 1 \text{ volt } 435 \times \frac{d'}{143,5}$$

$$= d' \times \frac{1}{100} \text{ volt.}$$

Cette méthode, d'un emploi très pratique, peut être utilisée pour obtenir la force électromotrice entre deux points d'un circuit.

Si par une expérience préalable on a déterminé l'intensité I, à cause de la relation $I = \frac{E}{R}$ on en déduira la résistance $R = \frac{E}{I}$.

212. — Application médicale. — Détermination pratique de la résistance du corps humain. — C'est cette méthode qui est employée à la Salpêtrière par le Dr Vigouroux pour la détermination des résistances (fig. 125).

Supposons qu'on veuille prendre la résistance du corps d'un malade entre la nuque et le sternum. On place sur ces deux régions deux tampons bien mouillés E et E' : le tampon E est relié au pôle positif de la pile et à la borne (2) d'une clef de Morse par un fil conducteur sur le trajet duquel est la résistance R' qui permet d'utiliser le galvanomètre pour la mesure des forces électromotrices. Un Latimer Clarck étant substitué aux tampons E et E', si on opère comme nous le dirons tout à l'heure pour la détermination de la force électromotrice, l'aiguille du galvanomètre marquera 143,5 si on veut apprécier les 1/100 de volt.

Le tampon E' est relié, comme on le voit, à l'une des bornes d'un galvanomètre dont l'autre borne communique avec le support de l'axe de la clef de Morse. E' est aussi relié au pôle négatif par un conducteur sur lequel se trouvent une résistance R égale à celle du galvanomètre et un interrupteur I. Sur ce conducteur s'embranche un autre qui relie le pôle négatif à la borne (1) de la clef.

L'interrupteur I étant levé et la clef de Morse fermant l'interruption (1), le courant passe dans le corps et dans le galvanomètre, dont la déviation donne l'intensité. Si on appuie sur la clef et sur l'interrupteur les interruptions (1) et I sont supprimées Le galvanomètre, qui se trouve sur le courant dérivé (ER′ 2 E′), fonctionne comme voltmètre et donne la force électromotrice entre E et E′.

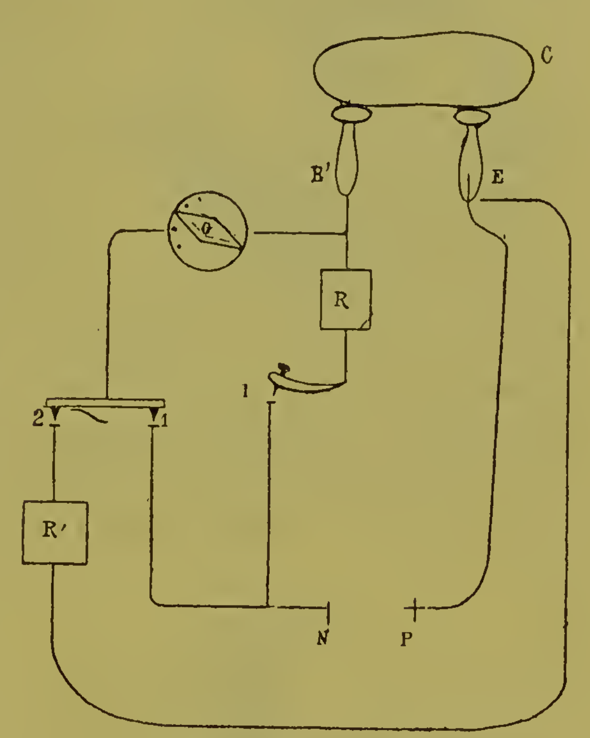


Fig. 125. — Schéma de la disposition adoptée par le Dr R. Vigouroux pour la détermination de la résistance.

La force électromotrice et l'intensité étant connues, on obtient R par la relation $R = \frac{E}{I}$.

En pratique, on peut se placer dans les conditions qui permettent d'avoir un minimum de résistance relatif, c'est-à-dire employer des courants dont l'intensité est comprise entre 0,5 et 5 M A et le laisser passer une ou deux minutes avant de faire la lecture de l'intensité.

Le Dr Vigouroux[1] fait trois lectures : 1° Lecture de l'intensité I ; 2° lecture de la force électromotrice E ; 3° deuxième lecture d'intensité I′. Il prend pour valeur de l'intensité au moment de la détermination de E, $\frac{I + I'}{2}$, de sorte que la résistance $R = \frac{E}{\frac{I + I'}{2}}$ (1).

213. — Voltmètres — On emploie aussi pour mesurer

[1] Vigouroux ; *Du dosage en électrothérapie* (*Progrès médical*, 1887).

la force électromotrice entre deux points des appareils appelés voltmètres (fig. 126), dans lesquels on retrouve les diverses pièces du galvanomètre d'Arsonval, aimant puissant, bobine, pièce de fer doux. La bobine a une très grande résistance. Elle est fixe et c'est la pièce de fer doux très légère qui tourne autour d'un axe. Les mouvements sont transmis à une aiguille mobile sur un cadran gradué en volts.

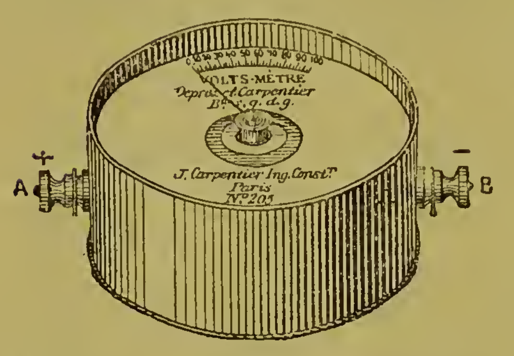


Fig. 126. — Voltmètre de Carpentier.

Certains galvanomètres tels que le galvanomètre dit à arête de poisson, de M. Despretz (fig. 127) (à cause de la forme particulière de la pièce mobile). peuvent être utilisés, soit comme ampèremètres, soit comme voltmètres, suivant qu'on utilise les bobines à fil gros ou à fil fin dont l'instrument est muni.

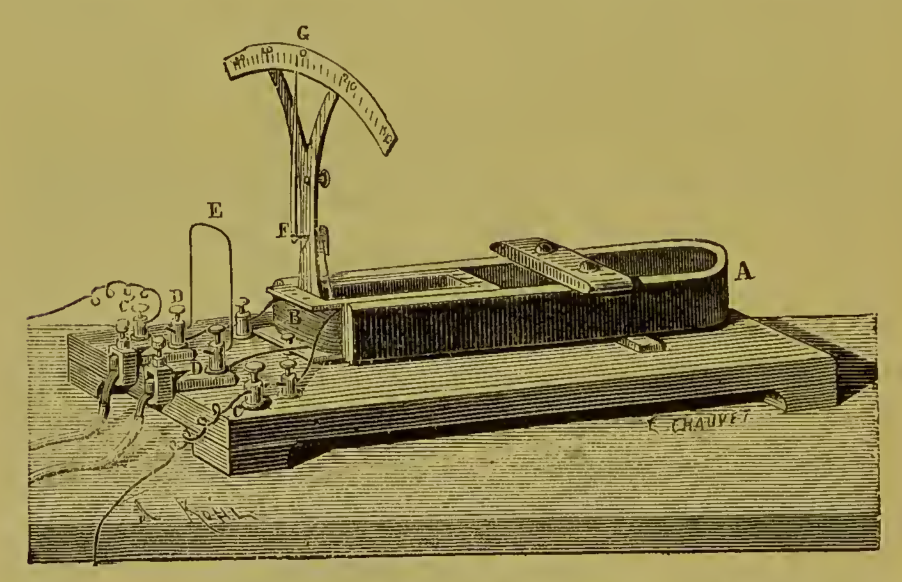


Fig. 127.— Galvanomètre dit à arête de poisson, de Marcel Despretz. A aimant fixe. B bobine. F G aiguille mobile sur un cadran divisé.

Il ne faut pas oublier que, si les galvanomètres gradués en ampères qui donnent l'intensité sont sur le circuit principal, les voltmètres qui donnent la force électromotrice entre deux points sont toujours en dérivation entre ces deux points.

214. — DÉTERMINATION DES FORCES ÉLECTROMOTRICES AU MOYEN DES ÉLECTROMÈTRES. — Les forces électromotrices peuvent aussi se déterminer avec l'électromètre de Branly (pag. 29), que nous avons décrit, ou celui de Mascart, qui n'en est qu'un perfectionnement.

Les cadrans de l'électromètre étant chargés comme nous l'avons dit, on met le pôle positif du Latimer Clark en communication avec l'aiguille d'aluminium, l'autre pôle étant à la terre, et on observe une déviation d. — On répète la même manœuvre avec l'élément dont on veut avoir la force électromotrice, on observe une déviation d'. La force électromotrice inconnue est donnée par la relation :

$$\frac{d}{1 \text{ volt } 457} = \frac{d'}{x}$$

D'où :

$$x = 1 \text{ volt } 457 \times \frac{d'}{d}$$

Enfin si on a à mesurer les faibles forces électromotrices qu'on a à considérer en électrophysiologie, force électromotrice d'un nerf ou d'un muscle, on peut avoir recours à l'électromètre capillaire de Lippmann.

215.— ÉLECTROMÈTRE CAPILLAIRE DE LIPPMANN. — L'appareil (fig. 128) se compose essentiellement d'un tube B dont la partie inférieure A, très effilée, plonge dans une éprouvette en verre C renfermant à la partie inférieure du mercure et à la partie supérieure de l'eau acidulée. Le tube de l'électromètre, bien nettoyé, a été rempli de mercure qui s'y maintient sous l'influence des forces capillaires. Ce tube étant plongé dans l'eau acidulée, celle-ci monte par capillarité dans l'intérieur du tube effilé, et la limite de séparation des deux liquides s'établit en m Dans le mercure du

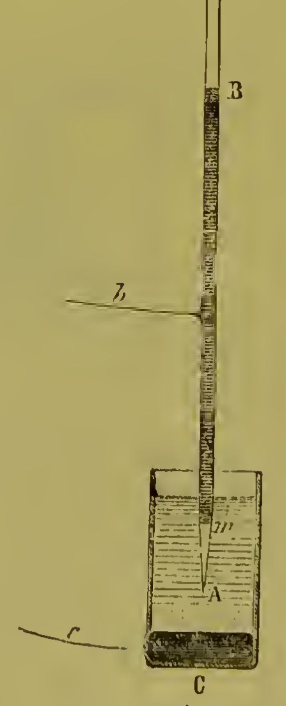


Fig. 128. — Électromètre capillaire de Lippmann.

tube inférieur et dans le mercure du tube de l'électromètre plongent deux fils de platine *b* et *c*. Ces deux fils étant réunis, c'est-à-dire étant au même potentiel, le mercure se fixe en un point déterminé *m*, qu'on note au moyen d'un microscope M (fig 129) muni d'un fil réticulaire. Si les

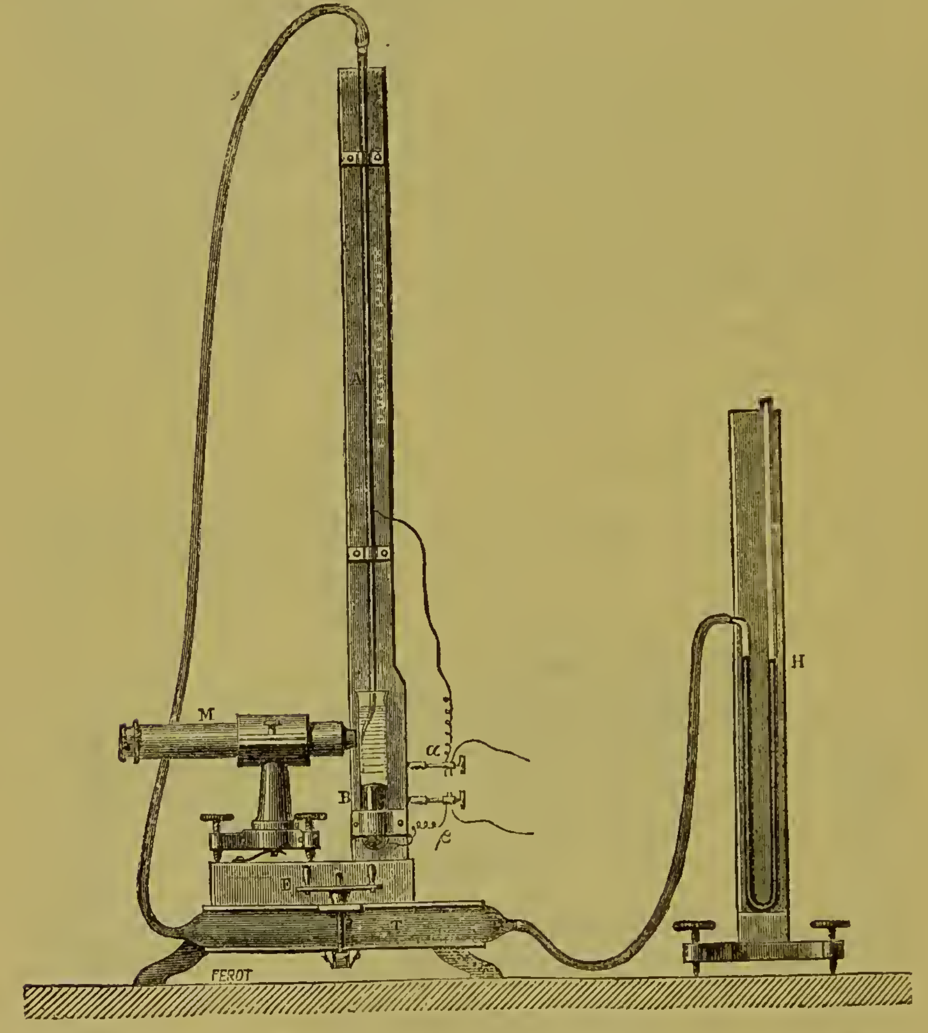


Fig. 129. — Électromètre capillaire de Lippmann avec ses accessoires, construit par la maison Ducretet, disposé pour l'observation. Le pôle négatif de la source doit toujours être mis en communication avec la borne α. Le pôle positif communique avec la borne β. Une clef de court circuit non représentée établit la communication entre les deux bornes α et β au début de l'expérience. M microscope. T sac en caoutchouc maintenu entre deux planchettes, l'une fixe et l'autre mobile, qu'on fait descendre ou monter en tournant l'écrou E. Il communique, comme on le voit, au moyen de tubes en caoutchouc avec l'électromètre et le manomètre M.

deux bornes M et N sont alors mises en communication avec deux points à deux potentiels différents, le mercure

se déplace du côté du potentiel le plus faible. Il faut donc, si on met l'appareil en communication avec les deux pôles d'un élément, que le pôle négatif communique avec le fil α; sans cela le mercure descendrait et s'écoulerait dans le réservoir. Le mercure s'étant ainsi déplacé, si on met simultanément l'électromètre et un manomètre en communication avec une poire en caoutchouc T sur laquelle on exerce une pression, le mercure descendra dans l'électromètre en même temps qu'il se déplacera dans le manomètre ; et lorsque le mercure sera revenu en m, c'est-à-dire lorsqu'on verra de nouveau l'image de la limite de séparation de l'eau et du mercure se confondant avec le fil réticulaire, on observera dans le manomètre une certaine pression.

La valeur de cette pression change avec la force électromotrice qui a déplacé le mercure. Elle est constante pour une même force électromotrice et permet par conséquent de la mesurer.

Une table donne les valeurs des forces électromotrices correspondant aux pressions observées.

Pour construire la table ou la courbe de l'électromètre on utilise souvent la méthode suivante :

Les deux bornes d'un élément P (fig. 130), dont on connaît la force électromotrice E et la résistance r, sont réunies par un fil sur le trajet duquel est une résistance BC assez grande pour qu'on puisse négliger devant BC la résistance des autres portions du fil et un rhéostat R dont les deux bornes sont mises en communication avec l'électromètre. On a en vertu des principes connus, e représentant la force électromotrice entre les bornes du rhéostat et ρ étant égal à la résistance BC :

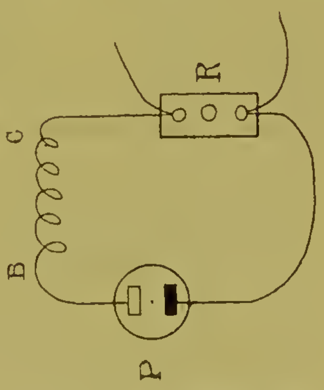


Fig. 130. — Schéma de la disposition à adopter pour la construction de la courbe ou de la table de l'électromètre Lippmann.

$$\frac{e}{R} = \frac{E}{R + \rho + r} \qquad \text{d'où : } e = \frac{R E}{R + \rho + r}$$

En faisant varier R, on aura des forces électromotrices e, e', e'', auxquelles correspondront des pressions H, H', H''. On réunira les résultats des observations par une courbe ou par une table. Nous donnons ici une table de graduation qui a été construite par M. Lippmann, la hauteur du mercure dans l'appareil étant de 750mm.

Hauteur de la colonne 750 millim de mercure, Eau acidulée $\frac{1}{6}$ d'acide sulfurique en volume.

FORCE électromotrice en fractions de Daniell	EXCÈS de pression en millim. de mercure	FORCE électromotrice en fractions de Daniell	EXCÈS de pression en millim. de mercure
0.016	15	0.500	288
0.024	21.5	0.588	314
0.040	46	0.833	356.5
0.109	89	0.900	358.5
0.140	111	0.909	358.5
0.170	131	1	353
0.197	148	1.261	301
0.269	188.5	1.444	239
0.364	235	1.833	110
0.450	270.5	2	94

Cette table montre que les hauteurs des colonnes de mercure qui équilibrent la force électromotrice vont en augmentant jusqu'à 0 volt 9 pour décroître ensuite, de sorte que pour 2 volts la hauteur mercurielle est sensiblement la même que pour 0 volt 11. Mais en pratique on n'utilise que la première partie de la table, celle qui correspond aux forces électromotrices comprises entre 0 et 0 volt 9.

L'appareil est d'une sensibilité extrême. Il peut servir couramment à apprécier le 1/10000 de volt. On a même construit des instruments qui permettaient de mesurer le 1/40000 de volt.

L'appareil peut remplacer le galvanomètre dans le pont de Wheastone. On fait varier la résistance du rhéostat jusqu'à ce que le ménisque soit recouvert par le fil du réticule du microscope.

216. — Application physiologique. — Le professeur Marey a utilisé l'électromètre à mercure pour montrer que les systoles cardiaques étaient de véritables secousses musculaires.

Quand un muscle se contracte, si on le met en communication avec l'électromètre, chaque secousse est indiquée par une oscillation du ménisque dans le tube capillaire. Si on met de même le ventricule du cœur d'une grenouille ou de tout autre animal en communication avec l'appareil, à chacune des systoles correspond une oscillation simple du ménisque.

Marey, en projetant l'image du ménisque sur du papier photographique se déplaçant d'une façon convenable devant l'appareil, a pu obtenir une courbe représentant la marche des déplacements du ménisque.

La courbe est aussi nette que les tracés sphygmographiques.

217. — Méthode de comparaison de Dubois-Reymond. — On peut aussi employer en électrophysiologie une méthode dont s'est servi Dubois-Reymond pour la détermination des forces électromotrices.

Supposons qu'il s'agisse de déterminer la force électromotrice entre deux points d'une patte de grenouille P' (fig. 131).

L'organe communique avec l'une des bornes d'un galvanomètre G et avec l'extrémité A d'un rhéostat rectiligne. La seconde borne du galvanomètre est reliée au curseur mobile C du rhéostat. Les deux rhéophores d'une pile P communiquent avec les extrémités du rhéostat. Le courant qu'elle fournit et le courant de la patte doivent traverser

en sens contraire le galvanomètre, ce qu'on pourra toujours obtenir avec un commutateur. On fait glisser le cur-

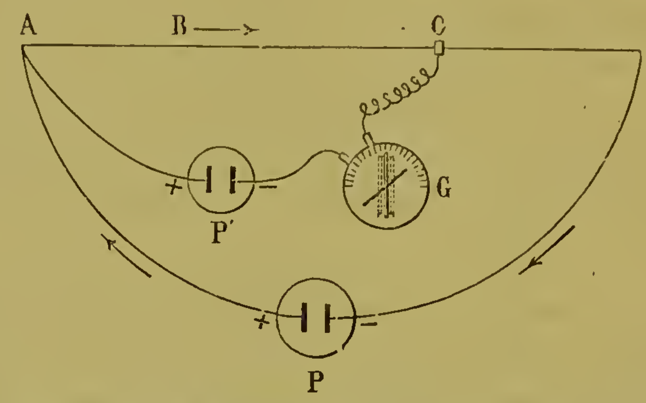


Fig 131. — Schéma de la disposition à adopter pour l'application de la méthode de Dubois-Raymond.

seur C jusqu'à ce que l'aiguille du galvanomètre soit au zéro.

A ce moment, le courant principal de la patte et le courant dérivé de la source P qui traversent le galvanomètre ont des intensités égales et contraires.

On remplace la patte par un élément Latimer Clark par exemple. Le curseur C est déplacé jusqu'à ce que l'aiguille du galvanomètre revienne au zéro. Si l et l' représentent les longueurs du fil du rhéostat comprises entre A et C, dans les deux expériences on démontre que la force électromotrice e cherchée est donnée par la relation :

$$\frac{e}{1 \text{ volt } 435} = \frac{e}{l}.$$

218. — Détermination de la force électromotrice d'une pile au moyen du galvanomètre balistique. — On charge un condensateur avec la pile dont on veut avoir la force électromotrice. On le décharge à travers le galvanomètre balistique, soit 5° l'impulsion observée.

On charge ensuite le même condensateur avec une pile de force électromotrice connue, 10 volts par exemple. Le conducteur étant de nouveau déchargé à travers le galva-

nomètre, on a une nouvelle impulsion, 20° par exemple. C désignant la capacité du condensateur, x la force électromotrice cherchée, dans le premier cas le condensateur prend une charge égale à $x \times V$, dans le second cas, 10 volts $\times$ V.

En écrivant que les quantités d'électricité sont proportionnelles aux impulsions, on a :

$$\frac{x \times V}{10 \times V} = \frac{5}{20} \qquad \text{d'où : } x = \frac{5}{2} \text{ volts} = 2,5 \text{ volts.}$$

219 — Détermination de l'énergie d'un courant. — L'énergie d'un courant pendant une seconde, c'est, comme nous l'avons dit, le produit de la force électromotrice par l'intensité du courant.

La force électromotrice étant exprimée en volts, l'intensité en ampères, l'énergie est exprimée en watts. On déterminera donc l'énergie d'un courant en déterminant séparément sa force électromotrice et son intensité.

L'énergie se détermine également au moyen d'instruments qui donnent immédiatement le produit E I.

Ces appareils, sur lesquels nous ne croyons pas devoir

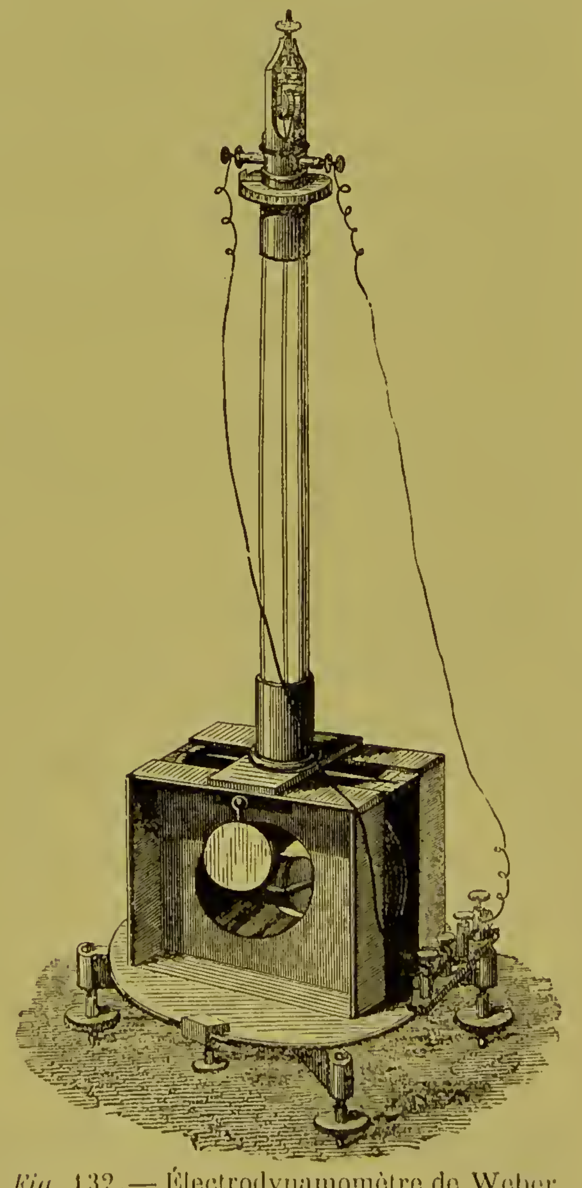


Fig. 132.— Électrodynamomètre de Weber.

insister ici, sont désignés sous le nom d'électrodynamomètres ou de wattmètres.

Ce sont, d'une façon générale, des galvanomètres dans lesquels la partie mobile, au lieu d'être une aiguille aimantée, est une bobine traversée par le courant (fig. 132).

Les mouvements de la bobine sont transmis à une aiguille mobile sur un cadran gradué en watts. L'énergie se lit aussi facilement qu'une intensité avec un ampèremètre et une force électromotrice avec un voltmètre.

CHAPITRE VIII.

COUPLES ET PILES THERMO ÉLECTRIQUES

220. — Courant thermo-électrique. — Dans les piles que nous avons étudiées jusqu'ici l'énergie électrique est une transformation de l'énergie chimique devenue libre dans la pile. Nous allons dire quelques mots d'autres éléments dans lesquels on obtient de l'énergie électrique par transformation d'énergie calorifique.

Prenons un fil de fer et un fil de cuivre que nous attachons, ou mieux que nous soudons l'un à l'autre à une de leurs extrémités, alors que les extrémités libres sont fixées aux deux bornes d'un galvanomètre à fil gros et court; il nous suffira de prendre la soudure entre les doigts pour observer une déviation de l'aiguille.

Si nous chauffons davantage, la déviation est plus grande.

Dans cette expérience le courant va du cuivre au fer à travers la soudure chaude.

En associant de la même façon un certain nombre de métaux deux à deux on a, dans chaque cas, en chauffant la soudure, un courant qui a une direction déterminée.

On a rangé, à ce point de vue, les métaux dans un ordre tel que le courant va d'un métal à un autre qui le suit dans la liste en traversant la soudure chaude.

Bismuth. — Platine. — Palladium. — Argent. — Étain. — Plomb. — Cuivre. — Or. — Zinc. — Fer. — Arsenic. — Antimoine.

Deux métaux ainsi associés constituent un couple thermo-électrique.

221. — Force électromotrice et résistance. — Les couples thermo-électriques se distinguent des couples

hydro-électriques, c'est-à-dire des couples dans la constitution desquels entrent des liquides, 1° par leur faible force électromotrice, 2° par leur résistance négligeable.

C'est ainsi que la force électromotrice du couple bismuth et antimoine, une des plus considérables qu'on puisse réaliser, est de 0 volt, 000057 pour une élévation de température de 1 degré.

La résistance d'un pareil couple est toujours une fraction d'ohm très petite.

Il suffira pour le comprendre de nous rappeler que la résistance spécifique des métaux est toujours beaucoup plus petite que celle des liquides (pag. 222).

Entre certaines limites de température entre 0° et 100°, par exemple, la force électromotrice des couples thermo-électriques est proportionnelle à l'élévation de température, et dans les applications médicales ou physiologiques nous supposerons toujours cette condition réalisée.

Il n'en est pas cependant toujours ainsi.

Si par exemple on prend le couple cuivre et fer on constate en chauffant la soudure que la force électromotrice va en croissant jusqu'à 274°, elle décroît alors, devient nulle, et si l'on continue à chauffer le courant change de sens ; il allait du cuivre au fer, il va maintenant du fer au cuivre.

La loi de Ohm s'applique à ces couples comme aux couples hydro-électriques, avec cette différence que dans un circuit où la source électrique est un couple ou une pile thermo-électrique, la résistance de la source est généralement négligeable devant celle du conducteur qui réunit les deux pôles.

Les couples peuvent être associés en série, en batterie ou en opposition pour former des piles thermo-électriques analogues aux piles hydro-électriques.

222. — Association des couples. Piles thermo-électriques. — Dans l'association en batterie, tous les métaux

de même nom des divers couples sont réunis entre eux. On forme ainsi un couple d'une grande surface présentant une résistance plus petite que chacun des couples primitifs. Le circuit extérieur aboutit à deux métaux différents.

Les éléments sont associés en série quand le métal d'un couple est relié à un métal différent dans le couple suivant.

Le circuit extérieur aboutit à deux métaux de nom différent.

Quand les éléments sont associés en série, la chaîne formée par les métaux est toujours disposée de façon que les soudures paires soient toutes du même côté, et les soudures impaires du côté opposé. Les extrémités de la chaîne étant reliées à un galvanomètre, on observe une déviation de l'aiguille quand il y a une différence de température entre les soudures de parité différente, déviation qui est proportionnelle au nombre des couples, et, entre certaines limites, à la différence de température des soudures. C'est la disposition de la pile si connue de Mellom.

Pour associer les piles en opposition on monte deux piles en série, et on les réunit par les métaux de même nom.

Le plus souvent, dans l'association en opposition, on ne considère que deux couples.

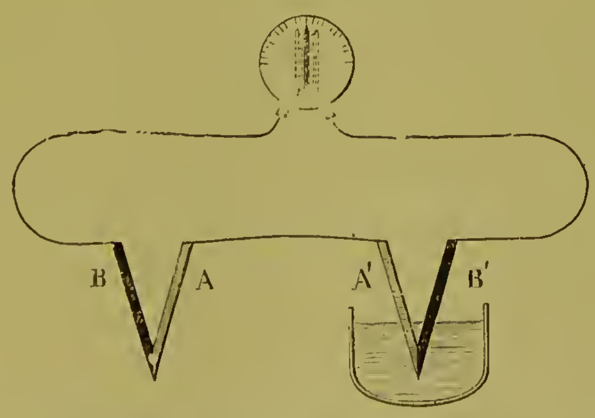


Fig. 133. — Couples montés en opposition.

Deux couples sont associés en opposition (fig. 133)

quand les métaux A et A′ de même nom dans les deux couples sont réunis. Le circuit extérieur aboutit à deux métaux de même nom B et B′.

Deux couples cuivre et fer étant montés en opposition, si les soudures sont chauffées, il résulte de ce que nous avons dit au début que chaque couple donne un courant qui traverse le circuit en sens contraire, de telle sorte qu'en désignant — par E et E′ les forces électromotrices des deux couples, l'intensité du courant $I = \frac{E - E'}{R}$

Elle est proportionnelle à la différence des forces électromotrices, qui est elle-même proportionnelle, dans les limites où nous nous supposons toujours placés, à la différence des températures des soudures, de telle sorte que, si les températures sont égales $E = E'$, l'intensité du courant est nulle, l'aiguille du galvanomètre reste au zéro.

Rappelons que dans ces expériences la résistance du galvanomètre doit être du même ordre de grandeur que celle de la pile. Elle doit toujours être faible, c'est-à-dire que le fil du galvanomètre est gros et court.

223. — Application des couples thermo-électriques a la mesure des températures. — Les couples thermo-électriques sont utilisés en médecine et en physiologie pour déterminer soit des températures locales, soit la différence de température entre deux organes. La forme qu'on leur donne permet de les faire pénétrer dans les masses musculaires profondes et dans les organes inaccessibles aux thermomètres ordinaires, les vaisseaux sanguins par exemple. Les soudures ayant une faible masse et un grand pouvoir conducteur se mettent rapidement en équilibre de température avec les régions dans lesquelles on les fait pénétrer, et à ce titre les couples thermo-électriques sont des appareils thermométriques d'une très haute sensibilité. Mais leur emploi exige de nombreuses précautions. Il faut les associer à un galvanomètre sensible, dont la lecture

demande une certaine habitude expérimentale. On ne peut donc les considérer que comme des appareils de laboratoire et de recherches cliniques.

A. Détermination de la différence des températures de deux organes. — Deux couples thermo-électriques sont montés en opposition et associés à un galvanomètre. On les fait pénétrer dans les deux organes dont on veut comparer les températures. L'aiguille du galvanomètre dévie et se fixe à une division n.

On enlève les deux soudures et on les met dans deux bains dont les températures connues sont peu différentes de celles des organes à comparer. L'aiguille du galvanomètre se fixe à la division n'.

Dans ces conditions les déviations sont proportionnelles aux intensités des deux courants dans les deux expériences, et ces intensités étant proportionnelles aux différences de température, on peut écrire :

$$\frac{x}{T - T'} = \frac{n}{n'}$$

D'où : $$x = (T - T')\,\frac{n}{n'}$$

T et T′ étant les températures des deux bains dans lesquels les aiguilles ont été plongées dans la 2e partie de l'expérience.

Exemple : $T - T' = 0°5 \quad n = 10 \quad n' = 15$

$$x = 0°071$$

B. Détermination des températures. — 1° Méthode. — Les couples sont montés en opposition et associés à un galvanomètre. L'un des couples est plongé dans un bain à température constante, l'autre est introduit dans l'organe dont on veut avoir la température. On observe une certaine déviation n.

On retire le couple de l'organe, on le met dans un bain à une température peu différente. L'autre couple étant tou-

jours à la même température, on observe une déviation n' peu différente de la première.

L'une des soudures étant à température constante t, l'autre étant amenée successivement aux températures x et T,

$$\text{on a } \frac{x-t}{T-t} = \frac{n}{n'}$$

D'où :

$$x = t + (T-t)\frac{n}{n'}$$

En supposant $t = 14°5$ $T = 34,2$ $n = 120$ $n' = 110$

$$x = 14,5 + 19,7 \times \frac{120}{110} = 14,5 + 21.5 = 36°$$

2ᵉ Méthode. — Cette méthode ne diffère de la précédente que parce qu'on maintient la soudure dans l'organe dont on veut avoir la température, alors que l'autre soudure est amenée successivement à deux températures t et t', peu différentes. On observe 2 déviations n et n'. La température x est donnée par la relation :

$$\frac{x-t}{x-t'} = \frac{n}{n'}$$

D'où :

$$x = t + (t-t')\frac{n}{n'-n}$$

Exemple :

Supposons $t = 32,5$ $t' = 32$ $n = 120$ $n' = 130$

$$x = 32.5 + 0,5 \times \frac{120}{10}$$

$$x = 38,5$$

Dans les 2 méthodes précédentes la température t peut être celle de la glace fondante, la température de l'air ou la température de l'eau qui coule d'un robinet.

3ᵉ Méthode. — Les deux couples D et E (fig. 134) sont toujours associés en opposition. L'un des couples E est placé sur l'organe. On observe une certaine déviation. Le 2ᵉ couple D est alors placé dans un bain dont on élève progressivement la température jusqu'à ce que l'aiguille du galvanomètre revienne au zéro. La température du bain donnée par un bon thermomètre T est alors la température cherchée.

Dans certaines recherches on a augmenté la sensibilité de la méthode en prenant, au lieu des couples que nous

Fig. 134. — Couples thermo-électriques montés en opposition pour la détermination d'une température (méthode de réduction au zéro). — D, E couples reliés au galvanomètre G. Le couple E est appliqué sur la peau ; D est plongé dans du mercure contenu dans l'éprouvette B. Un thermomètre T donne la température ; A est une seconde éprouvette contenant de l'alcool qu'on peut chauffer. On le refroidit en injectant de l'air au moyen de la poire P par le tube C C.

avons considérés, deux piles d'un même nombre d'éléments associées en opposition (Helmholtz).

224. — Applications physiologiques et médicales. — Becquerel et Breschet employèrent les premiers en 1837 les couples thermo-électriques dans des recherches sur la chaleur animale.

Ils ont ainsi montré le dégagement de chaleur qui se produit dans un muscle au moment de la contraction. Claude Bernard, en se servant du galvanomètre à miroir, a rendu la méthode plus sensible.

Dans ces expériences Claude Bernard employait toujours deux couples cuivre, fer, montés en opposition.

Pour éviter le contact des métaux avec les liquides de l'organisme qui aurait par action chimique donné des courants hydro-électriques, les aiguilles étaient enfermées dans des sondes en gomme élastique.

On peut également protéger les métaux en les recouvrant d'un vernis. Deux aiguilles cuivre et fer montées en opposition étant introduites dans deux régions de l'organisme, toute différence de température est accusée par la déviation de l'aiguille du galvanomètre.

Une des soudures étant dans le ventricule droit, l'autre dans le ventricule gauche du cœur d'un cheval, Claude Bernard constata que la température du ventricule droit était plus élevée que celle du ventricule gauche. Le sang s'était donc refroidi légèrement dans le poumon, ce qui démontre que cet organe n'est pas, comme le pensait Lavoisier, le foyer où s'alimente incessamment la chaleur animale.

En mettant une des soudures dans l'aorte abdominale, qui a une température sensiblement constante, tandis que l'autre était introduite par la veine crurale jusque dans la veine cave inférieure, Claude Bernard a constaté que l'aorte abdominale avait une température plus élevée que celle de la veine cave, mais en enfonçant la sonde de plus en plus dans la veine la différence des températures décroissait et elle devenait nulle au niveau de l'embouchure des veines rénales dans la veine cave.

225.— Couples et piles thermo-électriques pour les applications médicales et physiologiques. — Les aiguilles thermo-électriques de Becquerel, de Claude Bernard, fig. 135 (3), sont à soudure terminale. Les deux fils métalli-

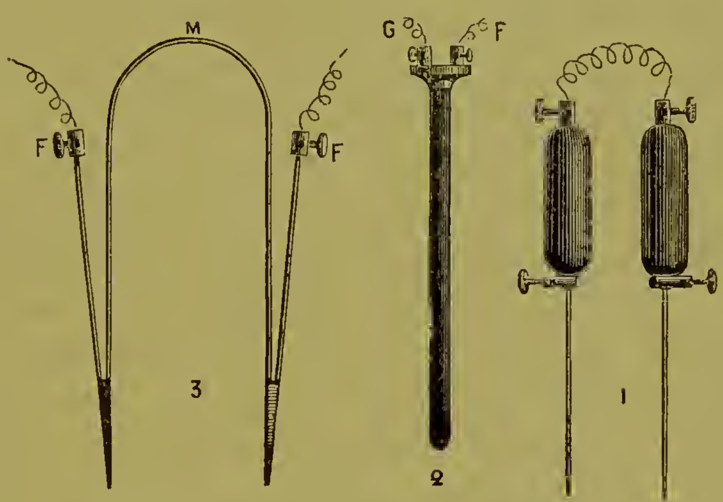


Fig. 135. — Aiguilles thermo-électriques. (1) Aiguille à soudure concentrique de d'Arsonval. (2) Sonde thermo-électrique disposée pour obtenir la température rectale. (3) Aiguille à soudure terminale (Appareils construits par Verdin).

ques cuivre et fer placés parallèlement sont soudés à une de leurs extrémités.

La portion de l'aiguille correspondante à la soudure est aiguisée quand on veut la faire pénétrer profondément dans les tissus, dans un muscle par exemple.

M. d'Arsonval a apporté une heureuse modification aux aiguilles précédentes. Il emploie dans leur construction le fer et le maillechort. L'un des métaux est complètement entouré par l'autre. Les couples fer et maillechort sont constitués par un tube en maillechort entourant le fil de fer Les deux métaux sont soudés à l'extrémité du tube. On désigne souvent les premières aiguilles sous le nom d'aiguilles à soudure terminale. Les aiguilles de M. d'Arsonval sont appelées aiguilles à soudure concentrique, fig. 135 (1).

Le Dr Redard a fait construire pour la détermination des températures locales, des couples fer, maillechort, réunis à

un galvanomètre facilement transportable (fig. 134), de sorte que les observations peuvent être prises au lit du malade. L'une des soudures E est maintenue bien appliquée sur le point dont on veut avoir la température. L'autre est plongée dans une éprouvette B contenant du mercure. Le mercure est chauffé en élevant la température de l'esprit de bois contenu dans une éprouvette A qui entoure la première. Les couples sont toujours associés en opposition, et pour avoir la température cherchée, on ramène l'aiguille du galvanomètre au zéro. Si, le mercure étant trop chauffé, l'aiguille du galvanomètre, après être revenue au zéro, l'a dépassé, on refroidit le mercure en insufflant de l'air dans l'esprit de bois au moyen de la poire P par le tube C.

La pile thermo-électrique de Melloni, formée par une chaîne de barreaux en bismuth et antimoine, a rendu les plus grands services aux physiciens dans l'étude de la chaleur rayonnante.

Mais sa fragilité la rend d'un emploi médical assez difficile. Brücke et Jansen ont employé la pile de Melloni pour étudier l'absorption des rayons calorifiques par les milieux de l'œil.

Un tube de Lestie étant disposé devant une des faces d'une pile de Melloni dont l'autre face est maintenue à température constante, l'aiguille d'un galvanomètre relié à la pile est déviée. Si on interpose entre la source de chaleur et la pile les divers milieux de l'œil, la déviation de l'aiguille est modifiée, une certaine quantité des rayons calorifiques ayant été absorbés.

La méthode est plus sensible lorsqu'avant l'interposition des milieux absorbants on place de part et d'autre de la pile de Melloni : 1° la source de chaleur qu'on va utiliser ; 2° une autre source qui, rayonnant sur la pile la même quantité de chaleur, ramène l'aiguille du galvanomètre au zéro.

La table ou la courbe qui donne les quantités de chaleur correspondantes aux diverses déviations de l'aiguille ayant

été construite, on a pu mesurer les quantités de chaleur absorbées.

On peut prendre comme source calorifique les rayons solaires décomposés par un prisme. Les milieux de l'œil sont interposés entre le prisme et une pile de Melloni linéaire qui peut recevoir successivement les diverses radiations. On peut ainsi constater que les radiations infra rouges, sont presque entièrement absorbées par les divers milieux liquides de l'œil. Ces rayons étant absorbés, on comprend pourquoi nous ne voyons pas la région infra rouge.

L'étude de la chaleur rayonnée par la peau peut présenter un certain intérêt. Le Dr Arnheim, de Saint-Pétersbourg, a constaté que les divers points de la surface du corps à l'état de santé ne rayonnent pas la même quantité de chaleur. Dans certaines maladies fébriles le pouvoir émissif de l'épiderme subit des variations de telle nature que la quantité de chaleur rayonnée, pour une surface déterminée de la peau, est beaucoup plus faible qu'à l'état normal, alors que la température accusée par le thermomètre est très élevée.

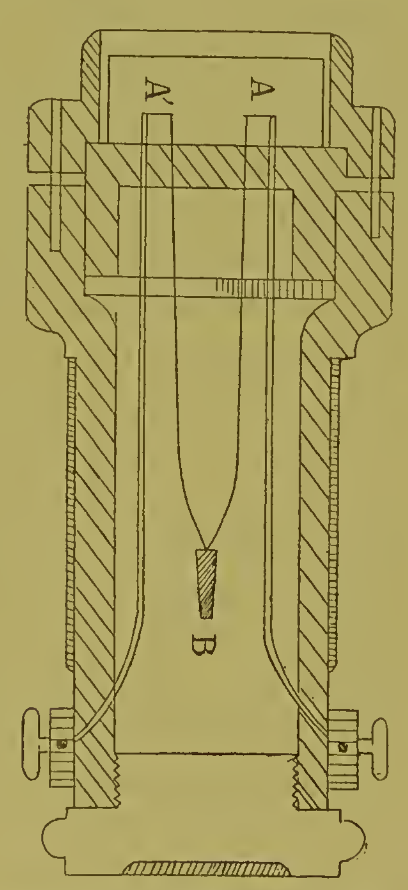


Fig. 136. — Schéma du thermo-électroscope d'Arnheim.

C'est dans le but d'étudier les quantités de chaleur rayonnées par une même surface de la peau qu'Arnheim a fait construire dans les ateliers d'Edelmann, de Munich, une pile thermo-électrique, qui n'est qu'une modification de la pile de Melloni, d'un maniement facile et à laquelle il a donné le nom de thermo-électroscope (fig. 136). Cet appareil est constitué par 40 couples fer maillechort asso-

ciés en série. Le fer du premier couple communique avec une des bornes de l'appareil, se replie en A à angle droit ; là il est soudé avec un fil de maillechort recourbé également en A à angle droit. En B le premier maillechort du couple est soudé au fer du deuxième couple, lequel est soudé en A′ à un fil de maillechort et ainsi de suite. Les soudures A et A′ sont toutes disposées de la même façon. Les soudures, telles que B sont entourées de morceaux de caoutchouc. Enfin le dernier maillechort est relié à une deuxième borne extérieure à l'appareil. Il y a donc en tout 40 soudures impaires et 40 soudures paires. Les soudures telles que AA′ émergent d'une boîte en ébonite remplie de paraffine : les soudures BB′ sont dans l'intérieur d'une boite en bois où elles sont également immobilisées avec de la paraffine, La boîte en bois, fermée du côté des soudures BB′, est ouverte du côté opposé et son bord supérieur limitant exactement une surface de 10 cmq dépasse le plan correspondant aux soudures de 15^{mm}. C'est ce bord que l'on applique sur la peau, de sorte que les soudures sont toujours échauffées par le rayonnement d'une surface bien déterminée, située à une distance constante. L'appareil rappelle tout à fait un téléphone par sa forme extérieure. On le relie à un galvanomètre. Si on l'applique sur la peau, l'aiguille du galvanomètre subit une déviation qui permet de mesurer la quantité de chaleur rayonnée. L'aiguille se déplace sur un cadran divisé en degrés. La déviation de l'aiguille n'est proportionnelle, comme on le sait, à la quantité de chaleur que jusqu'à 20°. Pour des déviations plus grandes, la chaleur rayonnée se mesure, soit au moyen d'une table, soit au moyen d'une courbe, qui donnent les quantités de chaleur correspondantes aux diverses déviations.

Citons aussi, comme pile thermo-électrique pouvant être utilisée pratiquement, la pile Clamond dont un des métaux constituants est un alliage de zinc et d'antimoine, l'autre une tige de nickel ou de fer.

Ces piles sont formées de pièces minces en terre ou en porcelaine qu'on empile les unes sur les autres. A leur partie centrale elles présentent un trou circulaire. Tous ces trous superposés forment une cheminée de tirage pour une lampe à gaz qui brûle à la partie inférieure. Les pièces de terre sont évidées extérieurement de façon à présenter un grand nombre d'alvéoles dans lesquelles on coule l'alliage. Les soudures paires sont à la partie centrale et sont toutes chauffées par la flamme du gaz qui brûle à l'intérieur de la cheminée. Les soudures impaires sont à l'extérieur et reliées à des pièces métalliques présentant une grande surface, de sorte que l'air les refroidit facilement. Cette pile ainsi que la pile de Noe, qui lui est analogue, ont été employées pour charger les accumulateurs qui peuvent servir dans les applications médicales, soit pour les lampes à incandescence, soit pour le galvano-cautère. On peut également s'en servir pour animer les bobines d'induction médicales. Le modèle de la pile Clamond, qui a 120 couples, a une force électromotrice de 8 volts et une résistance de 3, 2, ohms.

CHAPITRE IX.

PHÉNOMÈNES PHYSIQUES PRODUITS PAR LES COURANTS — LUMIÈRE — CHALEUR — CATAPHORÈSE

226. — De l'énergie dans les piles. — Le courant électrique est, comme le dit le professeur Gariel, un transmetteur d'énergie. Il transporte en effet l'énergie actuelle, devenue libre, dans l'intérieur de la pile soit par des réactions chimiques, soit par des phénomènes calorifiques, et cette énergie se retrouve tout entière sous la forme d'énergies de même nature ou d'énergies équivalentes.

Considérons par exemple une pile hydro-électrique. Le zinc et l'eau acidulée renfermaient, avant d'être introduits dans la pile, une certaine quantité d'énergie virtuelle Q. Ces deux corps étant mis en présence, il se produit du sulfate de zinc et de l'hydrogène possédant une somme d'énergie virtuelle égale à q. La différence $Q - q$ représente l'énergie devenue libre, utilisable par le courant sous forme d'énergie calorifique, mécanique, chimique, physiologique ou thérapeutique, de sorte que si on appelle E l'énergie libre, $e\ e'\ e''$ les énergies dans lesquelles le courant peut se transformer, le principe de la conservation de l'énergie exige que l'on ait :

$$E = e + e' + e'' + \dots$$

Si l'une de ces énergies de transformation vient à croître, les autres énergies diminuent, E restant constant.

Ainsi les expériences de Favre effectuées avec son calorimètre à mercure établissent que la dissolution de 33 gram. de zinc dans l'eau acidulée donne un dégagement de chaleur

sensiblement égal à 18 calories, c'est-à-dire équivalent.

$$18 \times 425\ kgm^{1} = 7.650\ kgm$$

C'est la quantité d'énergie que nous devrons retrouver dans le circuit sous la forme d'énergie calorifique, d'énergie chimique ou mécanique, etc., chaque fois que 33 gram. de zinc entreront en dissolution dans un élément.

Dans l'élément voltaïque nous n'avons à nous occuper que de l'action chimique correspondante à la production du sulfate de zinc. Dans les autres éléments, l'hydrogène mis en liberté réduit les corps riches en oxygène. A ces phénomènes de décomposition correspondent des quantités de chaleur absorbées, mais dans tous les cas il est facile de calculer la somme algébrique des calories correspondantes aux combinaisons et aux décompositions qui se produisent dans l'élément quand 33 gram. de zinc entrent en dissolution. Cette quantité de chaleur devenue libre multipliée par 425 représente toujours en kilogrammètres l'énergie libre, celle qui pourra être utilisée dans les divers phénomènes physiques, chimiques ou physiologiques que nous allons successivement étudier.

227.— Chaleur dégagée dans le circuit. Loi de Joule. — Lorsque le courant traverse un conducteur, ce conducteur s'échauffe, et, si le circuit ne renferme pas d'autre liquide conducteur que ceux de la pile, toute l'énergie libre se transforme en énergie calorifique.

C'est ce qui arrive quand sur le trajet du courant se trouve un fil fin en fer ou en platine. Ce fil s'échauffe, rougit et peut même fondre.

Joule a mesuré au calorimètre la quantité de chaleur développée dans un fil traversé par le courant. Il a établi que *la quantité de chaleur développée dans ce fil était, pendant l'unité de temps, proportionnelle à sa résistance et au carré de l'intensité du courant.*

[1] 425 *kgm* est l'équivalent mécanique de la calorie.

Ce résultat a été étendu par Joule aux conducteurs liquides.

L'échauffement est soumis aux mêmes lois.

Ainsi, si un conducteur de résistance r est traversé par un courant d'intensité I, la quantité de chaleur développée dans son intérieur s'exprime par la formule $Q = hrI^2$.

Le même courant traversant plusieurs conducteurs de résistance $r\, r'\, r''$, les quantités de chaleur dégagées dans chacun d'eux seront :

$$q = k r I^2$$
$$q' = k r' I^2$$
$$q'' = k r'' I^2$$

Si nous nous reportons au tableau des résistances spécifiques (pag. 222) on voit qu'un fil d'argent de résistance spécifique 0,017 s'échauffe moins qu'un fil de platine de résistance spécifique 0,092, ces deux fils ayant même longueur et même section et étant traversés par le même courant.

De même un fil de charbon de résistance spécifique égale à 43 s'échauffe incomparablement plus qu'un fil de platine de même longueur et de même section traversé par le même courant.

Il faut avoir soin de ne pas confondre la quantité de chaleur dégagée dans un fil avec la température à laquelle il est porté. La température dépend en effet non seulement de la quantité de chaleur mais aussi du poids du corps et de sa chaleur spécifique : entre ces quantités existe la relation

$$Q = pc\theta$$

Q étant la quantité de chaleur, p le poids, c la chaleur spécifique, θ la température, de sorte que $\theta = \frac{Q}{pc}$.

La température à laquelle un fil métallique est porté est donc d'autant plus petite, pour une quantité de chaleur déterminée, que son poids et sa chaleur spécifique sont plus grands.

Ex. — Le corps humain électrisé reçoit par seconde une quantité de chaleur égale à $\frac{1}{10}$ de calorie, son poids est 60 kilogr., sa chaleur spécifique est sensiblement égale à 1 chaleur spécifique de l'eau, l'élévation de température

$$\theta = \frac{1}{10 \times 60} = \frac{1}{600} \text{ de degré}$$

D'une façon générale l'élévation de température du corps traversé par le courant, sans contractions musculaire, est négligeable.

La loi de Joule s'étend aussi à la pile. La résistance de la pile étant R, l'intensité du courant I, la quantité de chaleur dégagée dans la pile est KRI^2.

Les conducteurs s'échauffant, la quantité totale de chaleur dégagée dans le circuit est la somme des quantités de chaleur dégagées dans la pile et dans les conducteurs qui réunissent les deux pôles. Cette quantité de chaleur totale sera donc égale à

$$\mathrm{K}r\mathrm{I}^2 + kr\mathrm{I}^2 + \ldots\ldots + k\mathrm{RI}^2$$

ou $$\mathrm{K}\,(r + r' + r'' \ldots\ldots + \mathrm{R})\, i^2 = \mathrm{K}\rho i^2$$

en désignant par ρ la résistance totale du circuit.

Nous savons aussi que $I = \frac{E}{\rho}$. Donc la quantité de chaleur totale :

$$\mathrm{Q} = k\rho\,\frac{\mathrm{E}^2}{\rho^2} = k\,\frac{\mathrm{E}^2}{\rho} = \mathrm{KE}\frac{\mathrm{E}}{\rho} = k\mathrm{EI}$$

Mais nous avons vu que l'énergie d'une pile est la quantité de travail qu'elle peut fournir pendant l'unité de temps:

$$\mathrm{W} = \mathrm{EI}$$

Ce travail est exprimé en *Watts* quand E est exprimé en volts et I en ampères. Donc la quantité de chaleur totale $Q = KW$, donc $K = \frac{Q}{W}$. Ainsi, si la résistance égale 100 ohms, la force électromotrice 10 volts, la quantité de chaleur sera

égale à $k \times 100 \times 10$ watts, ou à $k \times 100$ kilogrammètres, car on transforme pratiquement des watts en kilogrammètres en divisant le nombre de watts par 10.

La signification de K est alors facile à déterminer.

Nous savons qu'entre le travail et la quantité de chaleur évaluée en calories existe le rapport constant $\frac{Q}{W} = 425\,hgm.$

$$\frac{Q}{W} = \frac{K}{425} = \frac{1}{425}$$

Ainsi k est l'inverse de l'équivalent mécanique de la chaleur quand le produit EI exprime des kilogrammètres.

Ex : Une pile qui a une énergie de 1000 watts ou de 100 kilogrammètres développe dans le circuit total $\frac{100}{425}$ calories par seconde en supposant que toute l'énergie se transforme en énergie calorifique.

Favre a étudié au moyen d'un calorimètre spécial la quantité de chaleur dégagée dans la pile et dans le circuit. Il résulte de ces expériences que la somme de ces quantités de chaleur par unité de temps est égale à la quantité de chaleur dégagée dans la pile par suite des réactions qui s'y produisent.

De plus, la chaleur se partage entre la pile et le conducteur proportionnellement à leurs résistances relatives.

Si la pile a une faible résistance et le conducteur une résistance très grande, il y aura très peu de chaleur dégagée dans la pile, alors que la chaleur dégagée dans le conducteur sera considérable.

Si au contraire la pile a une grande résistance, elle s'échauffera d'autant plus que la résistance sera plus grande.

On comprend donc que, dans les applications médicales, les piles à faible surface présentant une grande résistance s'échauffent par le passage d'un courant beaucoup plus qu'une pile formée de grands éléments présentant une résistance plus faible. On perd dans le premier cas une quantité beaucoup plus grande d'énergie utilisable.

Dans les applications médicales dans lesquelles on utilise de l'énergie calorifique développée dans le circuit, les lampes Edison et le galvano-cautère, il importe de prendre une pile dont les éléments sont montés en batterie : 1° Le fil interpolaire a une résistance faible et nous avons dit que l'intensité d'un courant est maximum quand la résistance de la pile est égale à la résistance extérieure ; 2° Il s'agit ici de produire un dégagement calorifique considérable dans le fil interpolaire. La quantité de chaleur dégagée dans le fil sera d'autant plus grande que la quantité de chaleur dégagée dans la pile sera plus faible, c'est-à-dire conformément à la loi, que celle-ci aura une résistance plus faible.

D'après les relations $Q = KEI$, la quantité de chaleur totale est proportionnelle à la force électromotrice de la source électrique employée. De là, l'avantage, dans les applications, des piles au bichromate, ou des accumulateurs dont nous parlerons bientôt, dont la force électromotrice est égale sensiblement à 2 volts.

Les deux applications médicales importantes se rattachant à la loi de Joule, sont les lampes à incandescence utilisées pour l'éclairage des cavités naturelles et le galvano-cautère.

228. — Lampes a incandescence. — Une lampe à incandescence se compose essentiellement d'un fil fin, offrant par conséquent une grande résistance. Traversé par un courant d'une intensité suffisante, ce fil est porté à l'incandescence.

Les fils de platine ont d'abord été essayés, mais le platine subit par le passage du courant des modifications moléculaires qui le désagrègent rapidement.

Les lampes presque exclusivement utilisées aujourd'hui sont les lampes Edison, constituées par un filament de bambou carbonisé et attaché à ses deux extrémités à deux fils de platine fixés dans une ampoule en verre soufflé,

dans laquelle on a fait le vide aussi complet que possible avec une pompe à mercure. Le fil de charbon ne se trouvant pas en contact avec l'oxygène de l'air ne brûle pas.

Il subit cependant avec le temps des altérations moléculaires, de sorte que la durée d'une lampe ne dépasse guère 1000 heures de service.

Les lampes servant à l'éclairage public fonctionnent généralement avec une différence de potentiel de 100 volts aux bornes, c'est-à-dire aux points d'entrée et de sortie du courant dans la lampe, avec un courant de 0,50 à 0,75 ampère.

L'intensité étant par exemple 0,50 ampère, l'énergie consommée par une lampe est le produit de $100 \times 0,50$, c'est-à-dire 50 volts ou 5 kilogrammètres.

Ces lampes empruntent l'energie consommée au courant fourni par de puissantes machines électrodynamiques.

Les petites lampes médicales fonctionnent avec des potentiels plus faibles. Une pile au bichromate telle que la pile de Chardin (fig. 81), pile de faible résistance, peut être utilisée pour cette application.

Ces lampes entrent dans un certain nombre d'appareils médicaux employés pour l'éclairage des cavités naturelles.

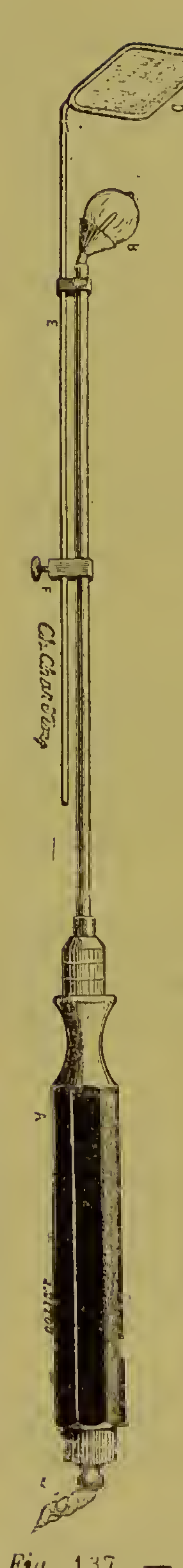


Fig. 137. — Laryngoscope de Chardin muni d'une lampe à incandescence (prix : 35 fr.)

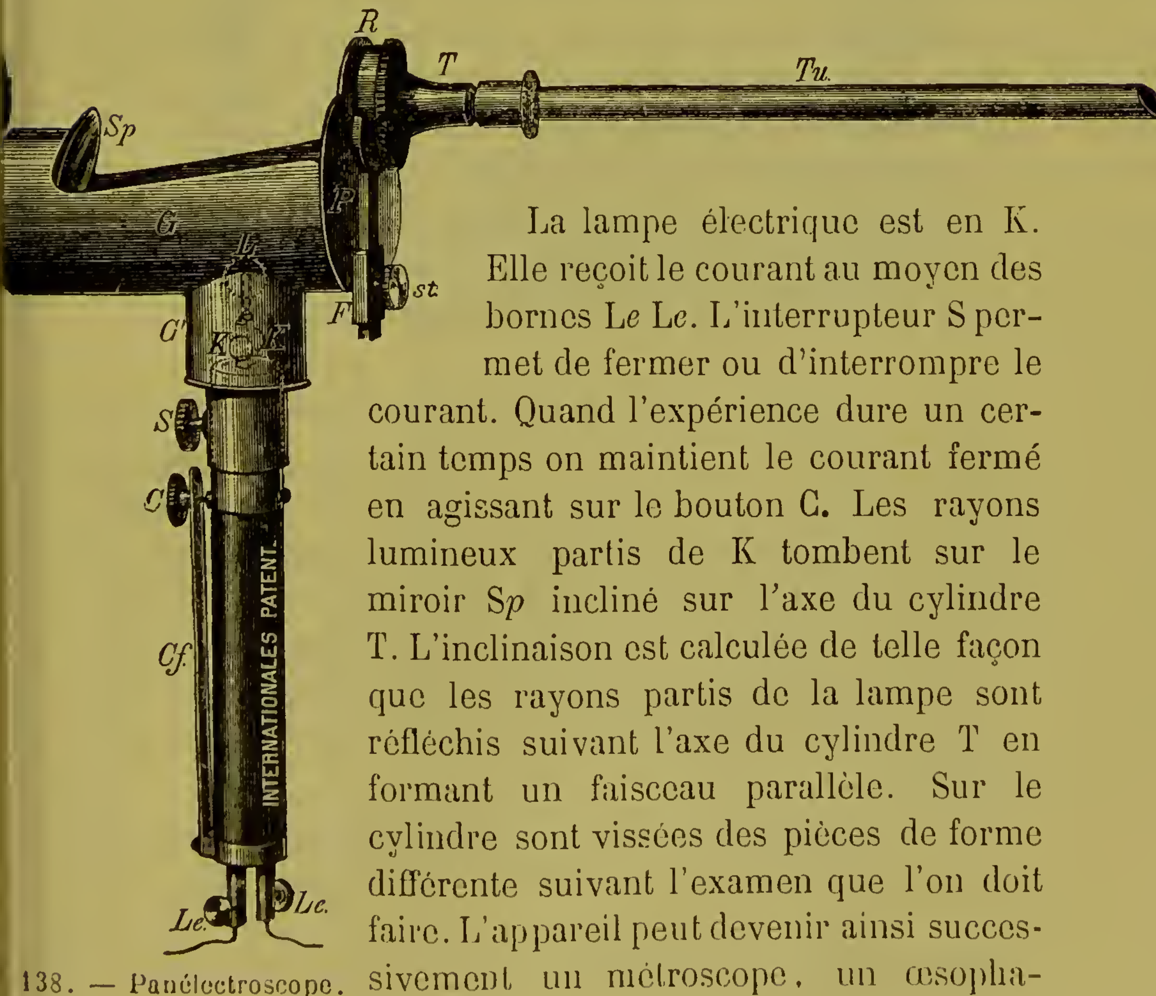
229. — Photophore. — Le photophore comprend une lampe placée dans l'intérieur d'une cavité cylindrique dont l'une des bases présente un miroir concave, alors qu'à l'autre base est une lentille plan convexe. Les rayons sortant de la lentille sont sensi-

blement parallèles. L'appareil est monté sur une sangle qui sert à le fixer sur le front de l'opérateur. On peut facilement diriger les rayons lumineux vers le point qu'on veut éclairer.

Chardin et Trouvé construisent un grand nombre d'instruments destinés à l'éclairage : du larynx (fig. 137), de l'estomac, de la vessie, dans lesquels la source lumineuse est une lampe à incandescence.

Les lampes à incandescence peuvent aussi être avantageusement utilisées pour l'éclairage du microscope.

230. — Panélectroscope. — Leiter (de Vienne) construit pour les applications chirurgicales un appareil qu'il désigne sous le nom de panélectroscope et dont la figure fait suffisamment comprendre la disposition (fig. 138 et 139).



138. — Panélectroscope.

La lampe électrique est en K. Elle reçoit le courant au moyen des bornes L*e* L*c*. L'interrupteur S permet de fermer ou d'interrompre le courant. Quand l'expérience dure un certain temps on maintient le courant fermé en agissant sur le bouton C. Les rayons lumineux partis de K tombent sur le miroir S*p* incliné sur l'axe du cylindre T. L'inclinaison est calculée de telle façon que les rayons partis de la lampe sont réfléchis suivant l'axe du cylindre T en formant un faisceau parallèle. Sur le cylindre sont vissées des pièces de forme différente suivant l'examen que l'on doit faire. L'appareil peut devenir ainsi successivement un métroscope, un œsopha-

goscope, un otoscope, un rhinoscope, un rectoscope, un vaginoscope, etc.

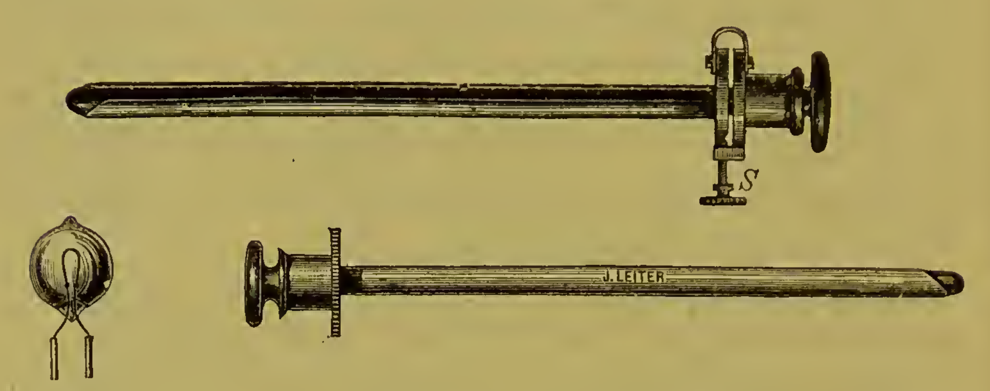


Fig. 139 — Sondes du panélectroscope avec leur mandrin. — Lampe à incandescence.

Supposons par exemple qu'on ait introduit dans la vessie la sonde T*u*. Le tube T est vissé sur la sonde T*u*.

L'appareil étant en place et fonctionnant comme nous l'avons dit tout à l'heure, les rayons lumineux qui ont traversé le tube T suivent la sonde T*u* en éclairant une région déterminée de la muqueuse vésicale. Cette région éclairée devient une source lumineuse qui joue le rôle d'objet par rapport à la loupe V à long foyer. Celle-ci en donne une image virtuelle qu'examine l'observateur.

231. — Laryngoscope électrique du Dr Stein pour la photographie du larynx. — L'éclairage des organes profondément placés étant ainsi obtenu, il était naturel de chercher à faire un pas de plus, en substituant aux images virtuelles soumises à l'interprétation individuelle des images réelles fournies par un appareil photographique.

C'est ce que l'habile constructeur Blänsdorf (de Francfort) a réalisé (fig. 140) pour le larynx sur les indications du Dr Stein [1].

Le laryngoscope x est muni d'une lampe électrique. La pile contenue dans une caisse $m\,n\,m'n'$ est reliée aux extré-

[1] La lumière électrique, 24 janvier 1885.

mités du fil de la lampe par le cable *a b*. De l'eau froide est fournie par le récipient C. Elle circule autour de la lampe,

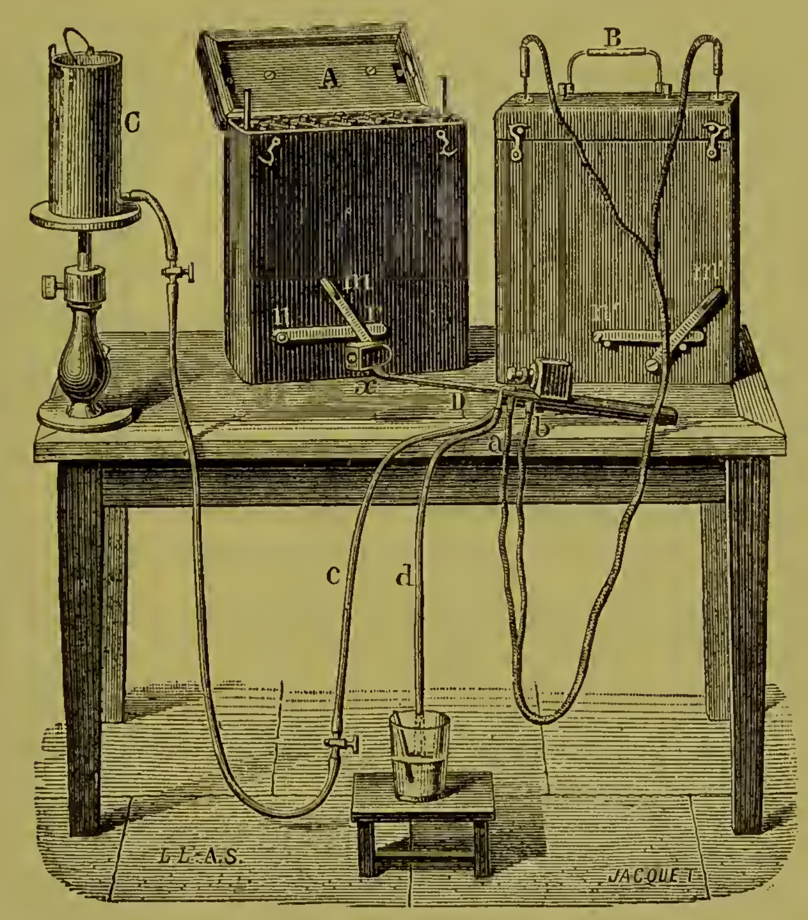


Fig. 140. — Laryngoscope électrique du Dr Stein construit par Blänsdorf de Francfort avec tous ses accessoires. Prix : 250 fr.

entre par le tube *c* sort par *d* et protège le larynx et les organes voisins contre le rayonnement. La chambre noire est solidaire du manche du laryngoscope D, son objectif a 5 millim. d'ouverture et 40 millim. de distance focale. La glace en verre dépoli est susceptible de faibles déplacements qui suffisent pour la mise au point. Toutes les opérations s'effectuent comme avec les appareils photographiques ordinaires. Un système de déclanchement dû au Dr Stein permet d'obtenir des images instantanées.

232. — Lampes a incandescence et hygiène. — Le médecin ne saurait trop recommander la substitution des

lampes à incandescence aux lampes à huile, à pétrole ou au gaz, pour l'éclairage des ateliers et des bâtiments scolaires.

Les lampes à incandescence éclairent sans consommer d'oxygène, sans produire de gaz nuisibles, oxyde de carbone, acide carbonique. La chaleur qu'elles rayonnent est très faible et leurs qualités éclairantes ne le cèdent pas à celles des autres sources lumineuses.

Dans une conférence récente faite à Brighton, le Dr Preece a fait ressortir la supériorité de cet éclairage au point de vue hygiénique.

«Tandis que notre législation prescrit, dit-il, des mesures sévères pour prévenir la falsification des denrées alimentaires et l'empoisonnement de l'eau, c'est à peine si elle a tourné son attention vers l'empoisonnement de l'air de nos demeures par des gaz nuisibles. L'oxyde de carbone est un poison mortel et le gaz d'éclairage en verse impunément des flots dans l'atmosphère de nos chambres. Si nos lois étaient logiques, elles proscriraient l'emploi de tout brûleur capable d'empoisonner ainsi l'air.

» La lumière électrique est un puissant agent de santé. Non seulement tous ceux qui s'en servent se sentent mieux qu'auparavant, mais leur appétit augmente, leur sommeil devient meilleur et les visites du médecin chez eux deviennent plus rares[1].»

233. — Galvano-cautère. — C'est comme le thermo-cautère un appareil qui permet d'utiliser la propriété que possèdent les métaux portés à température élevée, de sectionner et de cautériser. Mais, tandis que dans le thermo-cautère l'énergie calorifique est obtenue par des réactions chimiques, dans le galvano-cautère elle est empruntée au courant galvanique.

Un galvano-cautère comprend : 1° un manche isolant (fig. 141) ; 2° une partie conductrice formée par des tiges

[1] *L'année électrique*, 1892.

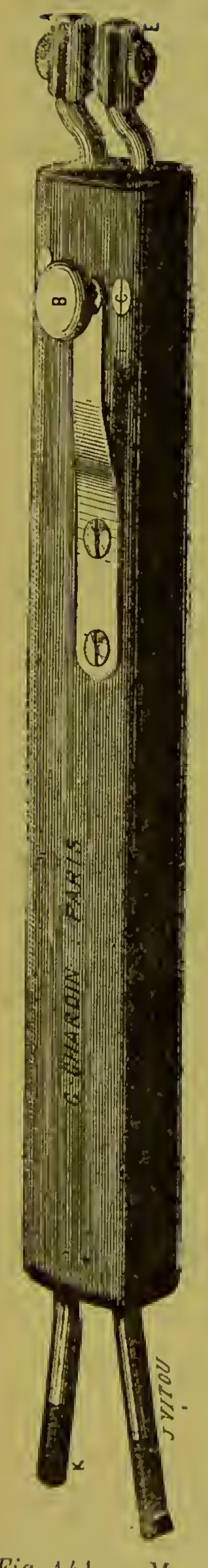


Fig. 141. — Manche des cautères de Chardin.

Fig. 142. — Couteau galvanique de Chardin.

en laiton doré K K de grande section, ayant par conséquent une résistance négligeable; 3° le cautère proprement dit.

Les tiges traversent le manche isolant. Elles peuvent être d'une seule pièce ou de plusieurs pièces qui se vissent ou se fixent les unes sur les autres en EE. Dans le manche l'une des tiges est formée de deux parties qui s'écartent l'une de l'autre lorsque le courant ne passe pas. On établit le contact au moyen d'un bouton B quand l'appareil doit fonctionner. Pour plus de commodité un verrou immobilise l'interrupteur quand l'appareil doit fonctionner quelque temps.

Le cautère proprement dit peut avoir une infinité de formes. Dans tous les cas, il est en platine, métal d'une grande résistance et d'une grande ténacité. Tantôt c'est une lame aplatie (fig. 142)

dans le couteau galvanique, tantôt c'est un fil de platine de faible section. On le contourne en anse (fig. 144) s'il s'agit de sectionner le pédicule de certaines tumeurs. On lui donne la forme d'une pointe plus ou moins émoussée quand il doit pénétrer dans les trajets fistuleux. On l'enroule aussi en hélice autour d'une pièce conique en porcelaine portant une rainure hélicoïdale V (fig. 143)

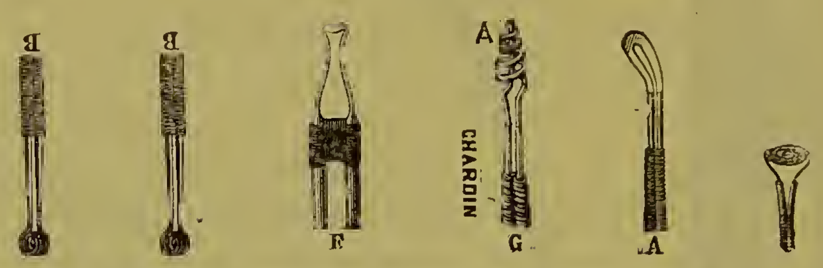


Fig. 143. — Différents modèles de cautères Chardin.

Les extrémités du cautère sont dans la plupart des cas rattachées aux tiges métalliques pleines. Le cautère est alors fixe.

Pour un certain nombre d'opérations on emploie une anse dont on peut faire varier la longueur. L'anse fait alors partie d'un long fil de platine dont les extrémités s'enroulent sur un treuil ou sont fixées sur des pièces mobiles que l'opérateur déplace et arrête facilement (fig. 144).

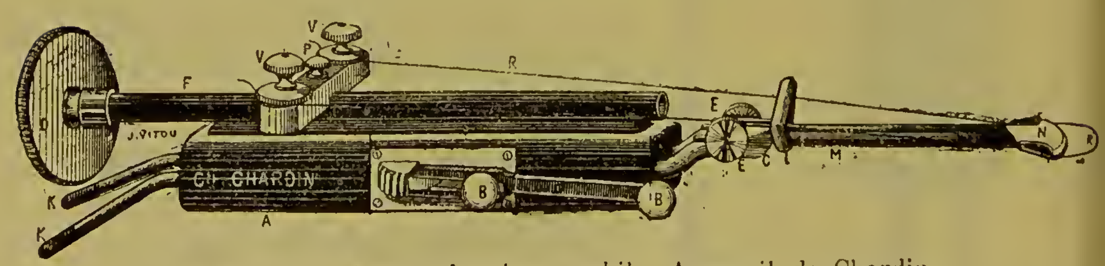


Fig. 144. — Anse galvanique mobile. Appareil de Chardin.

Pour faire de la galvano-caustique, il faut, indépendamment du galvano-cautère, avoir à sa disposition une source électrique et un rhéostat.

La source électrique doit toujours avoir une grande force électromotrice, la quantité de chaleur dégagée étant

comme nous l'avons dit, proportionnelle à la force électromotrice de la source. Elle doit, en outre, avoir une faible résistance pour que l'énergie calorifique se concentre dans le cautère. On réalise ces deux conditions en prenant des éléments à grande surface (fig. 81) dans lesquels le liquide excitateur est une solution d'acide chromique ou de bichromate de potassium. On emploie également avec avantage les accumulateurs que nous décrirons plus loin. Dans tous les cas, la force électromotrice d'un élément est voisine de 2 volts.

Les éléments sont montés en batterie. On peut aussi adopter tel groupement qui paraîtra plus avantageux pour obtenir le maximum d'intensité. Cela a lieu, comme nous le savons, quand la résistance intérieure est égale à la résistance extérieure.

Le rhéostat employé est d'une grande simplicité. C'est généralement un fil de maillechort enroulé en spirale dont on fait varier la longueur (fig. 56 et 57).

La résistance totale étant ici très faible, de petites variations dans la résistance introduite au moyen du rhéostat suffisent pour faire varier très sensiblement l'intensité du courant et par conséquent la température du cautère.

On peut employer comme rhéostat une éprouvette contenant du mercure que l'on met dans le circuit. Le courant arrivant par exemple à la partie inférieure de la colonne de mercure en sort par une tige de fer qu'on peut faire glisser dans le bouchon qui ferme l'éprouvette. C'est une disposition analogue à celle du rhéostat à liquide de Duchenne (pag. 135).

Nous avons vu que, dans le cas où le circuit présente des conducteurs de résistance différente, la chaleur se partage entre eux proportionnellement à leur résistance. Les tiges conductrices, la pile ayant une résistance négligeable, la chaleur se partage entre le rhéostat et le cautère, proportionnellement à leurs résistances. On élévera donc ou on

diminuera la température du cautère en diminuant ou en augmentant la résistance du rhéostat.

Les piles pour galvano-cautère sont disposées de telle façon qu'on peut faire varier à volonté la surface des zincs et des charbons immergés dans le liquide.

On augmente ou on diminue ainsi la résistance totale ; ce qui diminue ou augmente l'intensité du courant.

Dans le premier cas il y a abaissement de température, dans le second élévation. Mais cette manœuvre est moins facile que celle du rhéostat que l'opérateur peut manier de la main gauche, alors qu'il tient le cautère avec l'autre main.

Il importe, dans la plupart des applications, de pouvoir faire varier rapidement l'intensité du courant pour que le cautère conserve toujours une température convenable.

A température trop élevée il peut fondre, à température trop basse il perd ses propriétés caustiques.

Prenons par exemple le cas où il s'agit de faire disparaître une tumeur pédiculée. L'anse est passée autour du pédicule et rattachée au treuil. Le pédicule est serré entre l'anse et les tiges métalliques qui amènent le courant. On fait subir au fil en agissant sur le treuil une lente rétraction. Le fil incandescent pénètre dans les tissus qui sont écrasés, coupés et cautérisés. Si l'opération est bien menée le sang doit être coagulé à mesure que les vaisseaux sont sectionnés. Le pédicule est ainsi entamé de proche en proche dans toute son épaisseur.

On comprend facilement que les résistances produites par le cautère sont très différentes dans les diverses phases de l'opération.

Au début et à la fin, le courant traverse le cautère seul. La résistance finale est plus faible que la résistance initiale puisqu'on a diminué successivement la longueur de l'anse.

Pendant le cours de l'opération le courant traverse et l'anse et les tissus. La section du conducteur étant augmentée, la résistance et la température sont diminuées.

Il faudra donc, si on veut maintenir la température constante, faire varier la résistance du rhéostat.

Pour se guider il convient, avant l'opération, d'essayer le cautère sur un morceau de viande ayant l'épaisseur des tissus à traverser et de noter les diverses résistances du rhéostat, quand la section se produit dans de bonnes conditions.

La plupart des auteurs disent qu'il faut maintenir au rouge sombre la température du cautère. A température plus élevée le sang n'est pas coagulé, à température plus basse le cautère ne coupe plus.

A température trop élevée, le phénomène de caléfaction se produisant, il n'y a plus, disent-ils, contact entre le cautère et le sang. Cette explication ne peut pas être admise puisqu'au rouge sombre la caléfaction se produit également.

Onimus[1] donne une explication plus rationnelle en disant que, si le cautère est à une température trop élevée, il coupe comme un bistouri. On n'opère plus alors avec la lenteur nécessaire pour que le sang d'un vaisseau soit coagulé, pour que les éléments d'un tissu soient écrasés.

Disons également que, l'opération terminée, on ne doit pas ouvrir l'interrupteur avant d'avoir fait sortir les zincs et les charbons du liquide excitateur. On évitera ainsi les étincelles de rupture qui pourraient se produire entre les deux parties d'une des tiges métalliques qui se trouvent dans le manche, étincelles qui amèneraient bientôt l'oxydation des surfaces métalliques en présence et la mise hors d'usage de l'appareil.

Certainement le galvano-cautère est d'un emploi moins facile que le thermo-cautère puisqu'il faut lui associer une pile et un rhéostat, mais il rend des services qu'on ne peut pas demander au thermo-cautère.

1° Il prend les formes les plus variables et les plus commodes pour la pratique.

[1] Onimus; *Guide d'électrothérapie.*

2° Il peut être introduit froid dans les cavités naturelles ou pathologiques. On l'en retire également froid

3° L'anse galvanique a les avantages du cautère et ceux de l'écraseur linéaire.

234. — Arc électrique. — C'est aussi une application de la chaleur développée par le passage du courant à travers un milieu qui lui offre une grande résistance.

On obtient l'arc électrique en amenant l'un contre l'autre deux morceaux de charbon terminés en pointe et reliés avec les deux pôles d'une source électrique puissante.

Les piles étaient seules employées autrefois. On utilise aujourd'hui les courants plus puissants et plus économiques fournis par les machines dynamo-électriques. Les deux charbons étant écartés l'un de l'autre, l'arc jaillit entre eux. Dans l'air les charbons brûlent et, pour les maintenir à une distance invariable, on emploie des appareils spéciaux qu'on appelle régulateurs.

L'arc électrique est la partie lumineuse qui réunit les deux charbons. Sa chaleur est très grande, mais son éclat n'est pas très vif. La lumière électrique est fournie presque exclusivement par les charbons portés à l'incandescence et surtout par le charbon positif.

Les foyers de lumière électrique ont généralement une intensité de 1000 carcels, mais on peut atteindre des intensités lumineuses beaucoup plus élevées.

Un arc électrique nécessite une force électromotrice de 45 à 50 volts avec une intensité de 10 ampères. L'énergie consommée est donc pour une force électromotrice de 50 volts.

$50 \times 10 = 500$ watts ou 50 kilogrammètres.

Industriellement on admet qu'un arc électrique consomme un cheval, soit 75 kgm.

L'arc électrique doit être considéré comme produit par l'incandescence et de l'air qui est entre les charbons, et des particules métalliques et charbonneuses, qui sont

transportées de l'un des pôles à l'autre, mais surtout du pôle positif au pôle négatif.

La lumière électrique intéresse l'hygiéniste qui peut être appelé à se prononcer sur les avantages de ce mode d'éclairage sur l'éclairage au gaz.

M. Maklakoff, de Moscou, a signalé les accidents auxquels sont exposés les ouvriers qui s'exposent à ces puissants foyers lumineux : érythème de la peau, gonflement des paupières, picotements, photophobie, etc.... Ils éprouvent un véritable coup de soleil électrique[1].

M. Féré a communiqué à la Société de Biologie, le 25 mai 1889, l'observation d'une jeune femme qui après avoir regardé quelques instants dans un magasin, un foyer de lumière électrique, fut prise d'amblyopie, de troubles de la sensibilité et de phénomènes paralytiques. Enfin M. d'Arsonval a signalé plusieurs cas de surdité, survenus à la suite d'une exposition prolongée à la lumière électrique.

On l'a employée quelquefois pour provoquer la catalepsie chez les hystériques.

235. — Actions cataphoriques. — Le courant électrique transporte les liquides qu'il traverse du pôle positif au pôle négatif.

Ce phénomène, découvert par Porret, est désigné par les Allemands sous le nom de Cataphorèse, d'action cataphorique.

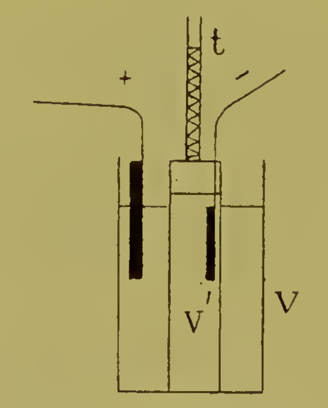


Fig. 145. — Expérience pour montrer la cataphorèse.

On peut le mettre en évidence dans l'expérience suivante : Dans un vase en terre V (fig. 145) contenant un liquide conducteur, de l'eau faiblement acidulée par exemple, on met un vase en terre poreuse V′ qu'on emplit du même liquide. Ce vase est fermé par un bouchon traversé

[1] L'année électrique 1890.

par un tube de verre étroit *t*. Deux lames de platine plongent dans le liquide des vases et sont mises en communication avec les deux pôles d'une pile. Le courant marchant du vase extérieur au vase intérieur, on voit le liquide s'élever dans l'intérieur du tube. Il baisse au contraire si le courant marche en sens contraire.

Si on examine au microscope une fibre musculaire traversée par le courant, on voit son contenu se déplacer du pôle positif au pôle négatif.

Cette cataphorèse est une des causes qui diminuent la résistance du corps humain lorsqu'il est traversé par le courant. Les liquides des électrodes et de l'organisme se portant au pôle négatif, imprègnent l'épiderme et augmentent sa conductibilité.

On a cherché à utiliser cette propriété pour faire pénétrer certains médicaments dans l'organisme. On s'est servi pour cela de tampons creux (fig. 146) et fermés par une membrane M. La cavité intérieure P est pleine d'une solution du médicament. Un fil de platine plongeant dans l'intérieur permet de la mettre en communication avec l'un des pôles d'une pile. Deux tampons étant placés sur la peau et reliés aux deux pôles d'une pile, on constate au bout de quelque temps, dans les urines de l'individu en expérience, des traces de la substance active.

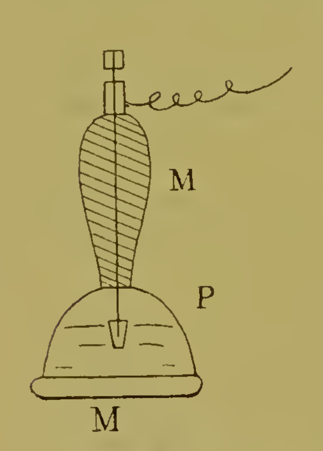


Fig. 146. — Électrodes pour le transport des liquides médicamenteux.

L'expérience a été faite en particulier avec la quinine et l'iodure de potassium.

On peut mettre également dans les tampons des substances toxiques, de la strychnine par exemple. Les animaux soumis à l'expérience présentent bientôt tous les symptômes de l'empoisonnement.

Citons à ce propos une méthode de traitement de la

goutte indiquée récemment par Edison. Le malade a une main dans un vase renfermant une solution d'un sel de lithine. L'autre main est dans un deuxième vase renfermant une solution de chlorure de sodium. On place le rhéophore positif dans le premier vase, le rhéophore négatif dans le second, et on fait passer un courant d'une intensité de 20 milliampères. Au bout de peu de temps on peut constater la présence du sel de lithine dans les urines.

On a également cherché à utiliser la cataphorèse en mettant le malade dans un bain contenant la substance active. Gärtner et Ehrmann ont fait construire dans ce but une baignoire divisée en deux compartiments, l'un supérieur, l'autre inférieur. Le corps du malade s'adapte exactement à un diaphragme percé de trous et formé de substance isolante. La baignoire renferme une solution de 8 gram. de sublimé. L'un des rhéophores de la pile plonge dans le compartiment inférieur, l'autre dans le compartiment supérieur.

Le courant, en se portant d'une électrode à l'autre, traverse le corps humain, seule voie conductrice entre les compartiments. La durée du bain est de 30 minutes. Les résultats obtenus par ce mode de traitement dans les affections syphilitiques sont satisfaisants [1].

La cataphorèse ne paraît pas devoir rendre de grands services à la thérapeutique, mais elle joue certainement un grand rôle quand on traite un malade par un courant continu. Sous son influence, les exsudats, les liquides pathologiques contenus dans les tumeurs, dans les glandes marchant du pôle positif au pôle négatif, sont versés dans la circulation générale et entraînés au dehors. C'est ainsi qu'on peut expliquer la disparition d'hydrocèles, d'hydropisies des bourses muqueuses, sous l'influence de la galvanisation.

[1] *Semaine médicale*, 27 novembre 1889, 24 septembre 1890.

CHAPITRE X.

EFFETS CHIMIQUES PRODUITS PAR LES COURANTS.

---

236. — Électrolyse. — Les courants continus décomposent un corps composé aux conditions suivantes :

1° Il doit être liquide ; 2° Il doit être conducteur.

On appelle électrolyse la décomposition d'un corps composé par le courant continu, électrolyte le corps soumis à la décomposition, électrodes les conducteurs de forme différente qui mettent l'électrolyte en rapport avec les deux pôles de la pile.

En électrothérapie, on appelle anode l'électrode positive, cathode l'électrode négative.

L'électrolyse, comme l'échauffement des fils, est un des modes d'utilisation de l'énergie devenue libre dans la pile. Nous savons que généralement les corps s'unissent avec dégagement de chaleur, de lumière, etc.

8 gram. d'oxygène et 1 gram. d'hydrogène possèdent une certaine quantité d'énergie potentielle. Dans des conditions convenables ils s'unissent pour donner 9 gram. d'eau avec dégagement de chaleur, de lumière, détonation, etc. Ces diverses formes de l'énergie représentent la différence entre la somme des énergies potentielles des deux gaz et l'énergie potentielle de l'eau formée.

L'excès de la première énergie sur la seconde, devenue libre, se manifeste dans les divers phénomènes calorifiques lumineux, sonores qui accompagnent la combinaison. Réciproquement, si avec ces 9 gram. d'eau nous voulons obtenir 8 gram. d'oxygène et 1 gram. d'hydrogène, il faut restituer à ces deux corps l'énergie qu'ils ont perdue au moment de leur combinaison.

C'est ainsi qu'intervient le courant en fournissant à l'eau l'énergie nécessaire pour que l'hydrogène et l'oxygène soient mis en liberté.

Mais on comprend tout de suite, à quelle condition pourra se faire cette décomposition. Il faudra que l'énergie fournie par la pile soit au moins égale à l'énergie actuelle dégagée au moment de la combinaison par l'hydrogène et l'oxygène. Nous disons au moins égale, car l'énergie fournie par la pile n'est pas exclusivement employée pour produire l'électrolyse. Une autre partie est utilisée conformément à la loi de Joule pour produire l'échauffement des diverses parties du circuit.

Ce que nous venons de dire pour l'eau s'applique à tous les électrolytes.

Il importe donc de se rappeler que, pour décomposer un liquide conducteur, il faut dépenser une quantité d'énergie au moins égale à la somme des énergies devenues libres au moment de la combinaison des corps qu'on veut séparer.

Rappelons les principes fondamentaux de l'électrolyse s'appliquant aux sels métalliques conducteurs et liquides.

237. — Lois de l'électrolyse. — 1° *Composés binaires.* — Un composé binaire est toujours décomposé de façon que l'hydrogène ou le métal se porte sur l'électrode négative ; on recueille le métalloïde sur l'électrode positive Ainsi, dans la décomposition de l'eau par la pile, l'hydrogène va sur l'électrode négative, l'oxygène sur l'électrode positive ; dans la décomposition du chlorure d'étain, l'étain va sur l'électrode négative, le chlore sur l'électrode positive.

2° *Composés ternaires.* — Le métal va toujours sur l'électrode négative, le radical sur l'électrode positive.

On entend par radical le composé formé par l'union des éléments qui sont combinés soit à l'hydrogène, soit au métal. C'est ainsi que dans l'électrolyse de SO^4H^2, SO^4 le radical

va au pôle positif, H^2 va au pôle négatif. De même dans la décomposition du sulfate de cuivre $SO^4 Cu$, Cu va sur l'électrode négative, et SO^4 sur l'électrode positive.

Le courant allant dans l'électrolyte, de l'anode à la cathode, on n'observe de traces de décomposition que dans le voisinage des électrodes. De plus, les éléments séparés sont exclusivement les uns sur l'anode, les autres sur la cathode.

Grotthuss a donné de ces phénomènes l'explication suivante, qui est généralement adoptée :

Un composé, quel qu'il soit, peut toujours être considéré comme formé de deux éléments. S'il est ternaire, ces deux éléments sont le métalloïde et le métal ; s'il est binaire, ce sont le métal et le radical.

Dans la combinaison, les deux éléments sont l'un chargé d'électricité positive, l'autre d'électricité négative. Le premier effet du courant est d'orienter les molécules, de façon que dans chacune d'elles le métal se tourne du côté de la cathode et que le métalloïde ou le radical se tournent du côté de l'anode. Cela fait, le métal de la première molécule chargé d'électricité positive obéit à l'attraction de l'électricité négative de l'anode ; le métalloïde ou le radical, devenus libres, s'unissent avec le métal ou l'hydrogène de la molécule voisine, et ainsi de suite, jusqu'à la dernière molécule, dont le métalloïde ou le radical se portent sur l'électrode positive.

Une nouvelle orientation des molécules se produit alors, elle est suivie d'une nouvelle décomposition, et ainsi de suite. Puisqu'à mesure que les éléments interposés aux électrodes deviennent libres, ils s'unissent entre eux, on comprend pourquoi on n'observe pas entre les électrodes de trace de décomposition. On comprend aussi pourquoi on ne peut trouver sur chaque électrode qu'une partie des éléments séparés. Ainsi, d'après l'hypothèse de Grotthuss, il y aurait entre les électrodes une série de combinaisons et de décompositions successives.

238.— Actions secondaires.— Dans certains cas, les lois précédentes ne se vérifient pas. Cela tient à des actions secondaires des produits de l'électrolyse, soit sur les électrodes, soit sur l'électrolyte. C'est ainsi que, dans la décomposition du sulfate de cuivre, si l'anode est en cuivre, le radical, mis en liberté, s'unit avec cette électrode et il se forme une quantité de sulfate de cuivre égale à celle qui a été décomposée. C'est pour éviter cette action secondaire que dans l'électropuncture, on prend comme électrodes des aiguilles d'or. Les aiguilles de fer seraient au contraire rapidement altérées.

239.— Actions des produits de l'électrolyse sur l'électrolyte. — L'action la plus intéressante pour le médecin est celle qui s'observe dans la décomposition des sels alcalins, le sulfate de potasse ou de soude par exemple.

La décomposition, comme il est facile de le démontrer, se produit toujours conformément à la règle précédente, le potassium se portant sur la cathode et le radical SO^4 sur l'anode. Mais le potassium mis en liberté réagit sur l'eau de la solution en donnant de la potasse K^2O et de l'hydrogène H^2. De sorte que les choses se passent comme si, le sulfate de potasse étant décomposé, la potasse se portait sur l'anode, et l'acide sur la cathode.

On comprend de quelle importance est cette action secondaire lorsque l'électrolyte est un liquide de l'organisme, sang, lymphe, etc... Les sels en solution dans ces liquides étant des sels alcalins, on obtient l'alcali sur l'anode et l'acide sur la cathode. L'acide et la base, ainsi mis en liberté, ont des propriétés caustiques et coagulantes qui ont été utilisées comme nous le verrons.

240. Lois de Faraday. — Aux décompositions électrolytiques se rattachent les lois de Faraday.

1° *Le même courant décompose toujours, dans le même*

temps, la même quantité d'un électrolyte placé dans des appareils de forme et de dimension quelconques.

Si par exemple on fait passer un courant dans de l'eau acidulée, l'intensité du courant restant constante, le poids, et par conséquent le volume d'hydrogène mis en liberté, est toujours le même pendant une seconde.

2° *La quantité d'électrolyte décomposée est proportionnelle à l'intensité du courant.*

L'expérience montre qu'un courant d'un ampère traversant de l'eau acidulée met en liberté $0^{milligr},01041$ d'hydrogène pendant une seconde. Si le poids de l'hydrogène qu'on recueille sur la cathode pendant une seconde est $10 \times 0^{m}.01041$, l'intensité du courant sera de 10 ampères.

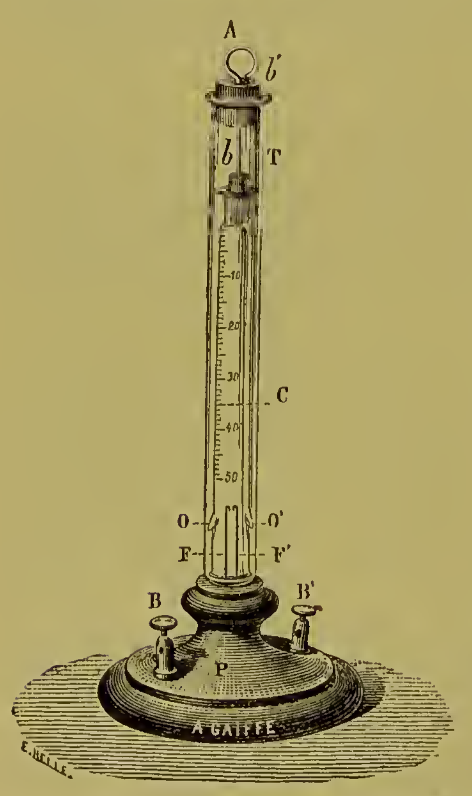


Fig. 147. — Voltamètre de Gaiffe.

Gaiffe a construit un voltamètre avec lequel on pourrait mesurer l'intensité d'un courant, en s'appuyant sur la loi précédente, si cette détermination n'était pas beaucoup plus facile avec un galvanomètre étalonné. Cet appareil (fig. 147) se compose de deux tubes C T fixés sur un support en bois, l'un extérieur, l'autre intérieur divisé en vingtièmes de centimètres cubes. Le tube extérieur communique par les orifices O O′ avec le tube intérieur. Dans celui-ci, pénètrent deux fils de platine FF′ en communication avec deux bornes extérieures BB′. Chaque tube est ouvert à sa partie supérieure et peut être fermé par un bouchon *b*, *b′*.

Les deux bouchons étant enlevés, si on verse de l'eau acidulée dans le tube extérieur, le liquide remplit les deux

tubes. On ferme alors le tube intérieur et l'appareil est prêt à fonctionner.

L'expérience montre qu'un courant d'un ampère, passant à travers un voltamètre pendant une minute, met en liberté dix centimètres cubes d'un mélange tonnant d'hydrogène et d'oxygène. Un courant d'un milliampère produira donc $\frac{10}{1000}$ où $\frac{1}{100}$ de centimètre cube. Un courant de 5 milliampères dégagera $\frac{5}{100}$ ou $\frac{1}{20}$ de centimètre cube. Il suffit par conséquent de voir quel est le nombre de divisions occupées par le mélange quand le courant a passé pendant une minute et de le multiplier par 5 pour avoir l'intensité du courant en milliampères.

3° *Le courant passant à travers plusieurs électrolytes, les poids d'hydrogène et des divers métaux en liberté sur la cathode sont proportionnels à leurs équivalents chimiques.*

Ainsi un courant qui met en liberté sur la cathode pendant une seconde 1 gram. d'hydrogène dépose sur celle ci 108 gram. d'argent, 33 de zinc, suivant que l'eau, un sel d'argent ou un sel de zinc sont soumis à la décomposition électrolytique par le même courant.

De là un procédé pour graduer en ampères un galvanomètre ou pour vérifier un galvanomètre étalonné.

On fait passer le courant d'une pile sensiblement constante à travers un galvanomètre et une dissolution de sulfate de cuivre dans laquelle plongent deux lames de cuivre formant électrodes.

La lame de cuivre étant pesée avant et après l'électrolyse, on trouve que, pendant t secondes, il s'est déposé p milligrammes de cuivre.

Or, un courant d'un ampère pendant une seconde mettant en liberté $0^{mgr},01041$ d'hydrogène, mettra en liberté pendant une seconde $0^{mgr},01041 \times 31,75$ de cuivre (31,75 étant l'équivalent du cuivre), et pendant t secondes $0^{mgr},01041 \times 31,75 \times t$.

Les poids d'électrolyte décomposés étant proportionnels aux intensités des courants, on trouvera l'intensité correspondante à la division sur laquelle s'arrête l'aiguille du galvanomètre au moyen de la proportion :

$$\frac{x}{1 \text{ amp.}} = \frac{p}{0{,}01041 \times 31{,}75 \times t}$$

d'où : $$x = \frac{p}{0{,}01041 \times 31{,}75 \times t} \text{ ampères}$$

4° *Le travail chimique intérieur est égal au travail chimique extérieur.*

Cette loi signifie que, lorsqu'un équivalent du métal est mis en liberté par l'électrolyse, un équivalent de zinc est dissous dans chaque élément de la pile qui sert à la décomposition.

241. — Force électromotrice nécessaire a la décomposition d'un électrolyte. — La détermination de la force électromotrice nécessaire à la décomposition d'un électrolyte peut se déduire des considérations que nous avons indiquées plus haut.

Nous nous rappelons que, la force électromotrice étant exprimée en volts et l'intensité en ampères, l'énergie que la pile met en liberté est E I watts ou bien $\frac{EI}{g}$ kilogrammètres.

Soit e l'équivalent chimique du métal, un courant de I ampères met en liberté un poids du métal $e \times 0^{mgr},01041 \times I$.

Si Q représente la quantité de chaleur dégagée quand 1 milligr. du métal s'unit aux autres éléments de l'électrolyte, $Q \times 0^{mgr},01041 \times e \times I$, représente le nombre de calories qu'il faut restituer à la combinaison pour que la décomposition se produise. 425 kilogrammètres étant l'équivalent de la calorie, la décomposition exigera une énergie mécanique égale à

$$425 \times 0^{mgr},01041 \times e \times I \times Q \text{ kgm.}$$

Donc, la décomposition sera possible si l'énergie fournie par la pile est égale au nombre précédent, c'est-à-dire que, s'il y a décomposition, on a l'égalité :

$$\frac{EI}{9,81} = 425 \times Q \times 0,01041 \times e \times I$$

D'où : $$E = 9,81 \times 425 \times Q \times 0,01041 \times e$$

Ainsi, on sait que 1 gram. d'hydrogène s'unissant avec 8 gram. d'oxygène dégage 35,5 calories, 1 milligr. dégagera 0,0355 calories. Q étant, dans le cas actuel, égal à 0,035, et e égal à 1, on trouve en substituant que :

$$E = 1 \text{ volt } 5.$$

Un calcul analogue pour tous les cas démontre qu'un électrolyte quelconque exige, pour être décomposé, une force électromotrice minimum déterminée.

Dans le calcul précédent, nous n'avons tenu compte ni du travail correspondant à l'échauffement du liquide, ni du travail absorbé par le transport de l'anode à la cathode; de sorte que la force électromotrice nécessaire à la décomposition est un peu supérieure au nombre trouvé en raisonnant comme nous l'avons fait.

242. — Polarisation dans l'électrolyse — Supposons que nous ayons déterminé la résistance d'une cuve électrolytique, d'un bain de sulfate de cuivre, par exemple. Faisons passer le courant d'une pile à travers un galvanomètre et une résistance métallique égale à celle que nous venons de déterminer, nous observerons une certaine intensité. Si nous substituons à la résistance métallique la cuve électrolytique, nous constatons que l'intensité du courant a diminué. Cette diminution d'intensité est due à ce que l'introduction de l'électrolyte dans le circuit a fait naître une force électromotrice de sens contraire à la force électromotrice primitive, qu'on appelle force contre-électromotrice ou de polarisation.

Si, en effet, e représente la force électromotrice de polarisation, l'intensité du courant qui était

$$I = \frac{E}{R} \text{ devient } I' = \frac{E - e}{R}.$$

Cette force contre-électromotrice est due, comme le dit le professeur Cornu (cours de l'École polytechnique), à la tendance qu'ont les éléments mis en liberté à se réunir. C'est en quelque sorte la réaction de combinaison de sens contraire à la force de décomposition qui a séparé les éléments.

Tant que la force électromotrice de la pile n'est pas suffisante pour produire la décomposition, la première phase de la décomposition, l'orientation des molécules est seule possible et il naît une force contre électromotrice qui augmente jusqu'à ce que la différence de potentiel aux électrodes soit égale à la force électromotrice de la pile.

Alors $E = e$; l'intensité du courant $I = \frac{E - e}{R} = 0$.

La force électromotrice de la pile augmentant, la force contre-électromotrice croît jusqu'à atteindre une valeur maximum; la décomposition électrolytique commence alors et la force électromotrice du courant qui traverse l'électrolyte est la différence entre la force électromotrice de la pile et la différence du potentiel maxima des électrodes polarisées.

Quant à la valeur maxima de cette force contre-électromotrice, elle est égale à la force électromotrice qui serait développée par la combinaison des éléments séparés.

Nous avons déjà signalé l'existence de cette force électromotrice dans les piles à un seul liquide qui sont en réalité, lorsqu'elles sont traversées par le courant, des vases renfermant un électrolyte liquide, dont les électrodes sont la lame de zinc et la lame de cuivre.

Les éléments séparés, l'hydrogène sur le cuivre, l'oxygène sur le zinc, donnent naissance à une force contre-électromotrice qui diminue rapidement l'intensité du courant.

C'est aussi cette force contre-électromotrice qui, modifiant la tension superficielle dans l'électromètre capillaire, produit les déplacements du mercure qui servent de mesure à la force électromotrice elle-même.

Ce que nous devons retenir, c'est que l'énergie de la pile, lorsqu'elle n'est pas suffisante pour produire des décompositions chimiques, fournit l'énergie mécanique nécessaire pour l'orientation des molécules à laquelle correspond la polarisation des électrodes.

Ainsi, s'il n'y a pas électrolyse, orientation simple des molécules. S'il y a électrolyse, orientation des molécules et séparation des éléments de l'électrolyte sur les électrodes.

Ces considérations ne sont pas inutiles pour le médecin Le courant galvanique peut ne pas avoir l'énergie nécessaire pour décomposer les substances qui entrent dans la constitution des tissus. Son action se réduit alors à orienter les molécules, à les ébranler mécaniquement.

Nous ne pouvons pas suivre les modifications qui se produisent dans l'intimité des tissus.

Mais les résultats heureux obtenus dans beaucoup de cas sous la seule influence de courants faibles montrent que cet ébranlement mécanique suffit pour amener des modifications dans la nutrition, dans la vitalité d'un organe.

Sous l'influence du courant, le tissu de sclérose s'élimine aussi bien de la moelle que des fibromes, les liquides pathologiques sont résorbés. On ne conçoit guère que l'énergie si faible du courant ait pu produire de pareils résultats. Il nous semble que, conformément à une comparaison de M. Berthelot, le courant intervient alors comme la main de l'enfant qui a poussé un rocher de la crête d'une montagne dans la vallée. Le rocher peut produire sur son passage toutes sortes de ravages. Ce n'est pas dans la main de l'enfant qu'on recherchera la cause des énergies manifestées ; elle n aura fait que les provoquer. De même

le courant intervient sans doute en provoquant dans les tissus des manifestations d'énergie qui substituent aux éléments pathologiques des éléments normaux.

L'action du courant n'a pas guéri, mais elle a provoqué la manifestation de ce que les anciens appelaient la « vis médicatrix ».

Après le passage du courant les molécules polarisées reprennent leur orientation primitive. Il se produit une nouvelle action mécanique qui explique dans une certaine mesure comment les effets produits par le passage du courant se poursuivent longtemps, après qu'il a été interrompu. Ces phénomènes hypothétiques de polarisation pendant le passage du courant, de dépolarisation quand le courant a cessé de passer, appartiennent comme la cataphorèse à un groupe d'actions qui, d'après Remack, ont une importance fondamentale dans les effets des courants sur les tissus vivants et qu'il a désignés sous le nom d'actions catalytiques.

243.—Accumulateurs.—Les électrodes étant polarisées par l'électrolyse, on constate facilement, en les réunissant par un conducteur sur le trajet duquel est un galvanomètre, la production d'un courant inverse du courant de charge. En même temps les éléments mis en liberté sur les électrodes disparaissent.

Ainsi pour obtenir l'électrolyse de l'eau il faut faire passer un courant qui va de l'anode à la cathode.

Les électrodes étant polarisées, si on les réunit par un fil conducteur muni d'un galvanomètre, le sens de la déviation montre que le voltamètre est traversé par un courant qui va de la cathode à l'anode. En même temps l'hydrogène et l'oxygène séparés disparaissent dans les éprouvettes qui recouvrent les électrodes en proportions équivalentes.

Ces éléments reconstituent des molécules d'eau par un mécanisme analogue à celui de l'électrolyse; d'abord

orientation des molécules, puis combinaison des atomes de proche en proche, ce qu'explique le schéma.

$$\text{Cathode } H^2 \mid O\ H^2 \mid O\ H^2 \mid O \text{ Anode}$$
$$H^2O \mid H^2O \mid H^2O$$

Un accumulateur est, d'une façon générale, un voltamétre dont l'eau acidulée est décomposée par un courant. Les éléments mis en liberté sur les électrodes se recombinant restituent l'énergie électrique qu'ils ont absorbée au moment de la décomposition.

Charger un accumulateur, c'est décomposer par un courant l'eau acidulée en ses éléments. Le décharger, c'est recombiner les éléments séparés.

Les premiers accumulateurs étaient des voltamétres à électrodes de platine.

En 1859, Planté observa qu'on obtenait de bien meilleurs résultats en prenant comme électrodes des lames de plomb (fig. 148).

L'industrie des accumulateurs a fait depuis de grands progrès.

Ceux qu'on emploie aujourd'hui sont généralement constitués par des électrodes en plomb auxquelles on donne par fusion et solidification dans des moules la forme de grillages à jour.

Dans chacune des cellules de la cathode on fixe du minium. On remplit celles de l'anode avec de la litharge. Ces plaques sont disposées verticalement dans des vases en substance isolante, verre ébonite, et séparées les unes des autres par des baguettes en jonc ou par des bagues en caoutchouc.

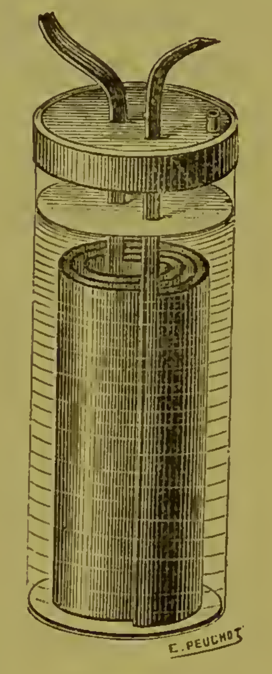




Fig. 148. — Accumulateur à lames de plomb de Planté. Les lames sont enroulées en spirale, isolées l'une de l'autre et plongées dans le vase qui renferme l'eau acidulée.

Ces vases renferment de l'eau acidulée 9 parties eau, 1 acide sulfurique.

A. Charge des accumulateurs. — Les accumulateurs sont chargés en mettant les électrodes en communication avec les deux pôles d'une source d'électricité.

L'hydrogène va sur la cathode, réduit la litharge et donne du plomb métallique. L'oxygène rencontre à l'anode le minium qu'il transforme en bioxyde de plomb. Il se produit en même temps de l'ozone, de l'eau oxygénée, et d'après Planté des oxydes supérieurs de plomb. L'accumulateur est chargé quand les gaz se dégagent au lieu d'être absorbés par les électrodes.

La limite de charge au début est bientôt atteinte, mais si on charge et si on décharge plusieurs fois l'accumulateur on rend les électrodes plus poreuses. Les gaz oxygène et hydrogène pénètrent peu à peu dans toute la masse des électrodes. La charge devient de plus en plus grande, et elle finit par atteindre une limite qui n'est pas dépassée. Avec les accumulateurs qu'on emploie aujourd'hui en les chargeant et en les déchargeant successivement pendant 100 heures on leur fait emmagasiner la quantité de gaz maximum. L'accumulateur est, comme on dit, formé. Avec les premiers accumulateurs de Planté la période de formation était bien plus longue.

L'expérience a montré que la charge devait être faite avec précaution et que l'intensité du courant de charge ne devait pas dépasser un ampère par kilogramme de plomb. Ainsi un accumulateur dont les lames pèsent 10 kilogr. ne doit pas être chargé par un courant d'une intensité supérieure à 10 ampères. Un accumulateur doit donc être muni d'un rhéostat et d'un galvanomètre qui permettent de faire varier et de mesurer l'intensité du courant de charge.

B. Sources d'électricité employées pour charger les accumulateurs. — Les piles hydro et thermo-électriques peuvent être utilisées pour charger un accumulateur

pourvu que leur force électromotrice soit supérieure à la force électromotrice maximum de l'accumulateur, qui est égale à 2 volts 25.

Ainsi un seul élément Daniell ou un seul élément Bunsen ne suffisent pas.

Mais deux éléments Bunsen montés en série chargent un accumulateur. La force électromotrice de cette pile est égale à 2×1 volts 75 $=$ 3 volts 5. On pourrait prendre aussi une pile de 3 éléments Daniell dont la force électromotrice égale 3×1 volts 08 $=$ 3 volts 24. Pour charger plusieurs accumulateurs avec les sources précédentes on les associe en batterie. Les choses se passent alors comme si on avait à charger un seul élément.

Dans les villes où existe une usine centrale d'électricité le médecin peut charger son accumulateur en le reliant aux câbles de distribution de l'usine.

S'il n'a pas chez lui l'électricité, il peut envoyer son accumulateur à l'usine pour le charger.

C. Quantité d'électricité d'un accumulateur. — Un accumulateur est caractérisé par la quantité d'électricité qu'il peut recevoir avant d'être chargé complètement. L'expérience montre que chaque kilogramme de plomb d'un accumulateur peut recevoir 30000 coulombs avant d'être chargé complètement.

Un courant d'un ampère fournissant par heure 3600 coulombs, on voit qu'un accumulateur qui reçoit un ampère par kilogramme de plomb, c'est-à-dire 3600 coulombs par heure, n'est chargé qu'au bout de 9 heures environ.

D. Décharge de l'accumulateur. — L'accumulateur chargé se décharge lentement lorsqu'il est abandonné à lui-même. Cette décharge est très lente, et au bout de plusieurs mois la quantité d'électricité qu'il conserve est encore très sensible.

Nous avons dit déjà que, pour expliquer les effets consé-

cutifs de l'électrisation, on compare le corps humain qui a été électrolysé à un accumulateur qui se décharge intérieurement avec une grande lenteur.

Si on réunit l'anode et la cathode par un conducteur, la dépolarisation marche rapidement en même temps que l'accumulateur fournit un courant de décharge.

Le plomb réuni à la cathode se transforme de nouveau en litharge, de même que le bioxyde de plomb de l'anode repasse à l'état de minium.

Un accumulateur restitue en se déchargeant les 80 °/₀ de la quantité d'électricité qu'il avait emmagasinée pendant la charge.

Au moment où la décharge commence, la force électromotrice est égale à 2 volts 25. Elle décroît rapidement, et pendant les 3/4 de la décharge on peut la considérer comme constante et égale à 2 volts. D'après Planté, la diminution de la force électromotrice, au début de la décharge, serait due à la décomposition rapide de l'ozone de l'eau oxygénée et des oxydes supérieurs de plomb formés pendant la charge.

L'expérience démontre que, pour que l'accumulateur ne se détériore pas, il est nécessaire que la force électromotrice ne descende pas au-dessous de 1 volt 85.

La décharge doit être, comme la charge, menée avec précaution. Chaque kilogram. de plomb ne doit pas fournir un courant d'une intensité supérieure à 1 ampère, ce qu'on peut facilement réaliser avec un rhéostat.

La durée de la décharge est en raison inverse de l'intensité du courant fourni par l'accumulateur. Cela résulte de la formule

$$Q = I\,t \qquad \text{D'où :} \quad t = \frac{Q}{I}$$

Puisque

$$I = \frac{R}{E}$$

on voit que

$$t = \frac{Q}{R} \times E$$

La durée de la décharge est donc proportionnelle à la résistance du conducteur traversé par le courant. Par conséquent un accumulateur se déchargera plus vite à travers la lame du galvanocautère de faible résistance qu'à travers une lampe à incandescence dont la résistance est beaucoup plus grande.

E. Résistance de l'accumulateur. — La résistance d'un accumulateur est toujours très faible.

D'après Hospitalier, un couple de 50 c. q. de surface totale dont les lames sont distantes de 4 à 5^{mm} a une résistance de 0 ohm, 04 à 0 ohm 06, suivant le degré de formation.

On voit que, si la résistance extérieure est négligeable, un accumulateur de force électromotrice de 0,04 ohm et de force électromotrice de 2 volts peut fournir un courant d'une intensité

$$I = \frac{2}{0{,}04} = 50 \text{ ampères.}$$

F. Mode d'association des accumulateurs. — On peut les grouper comme les piles et les associer en particulier en série ou en batterie, en se laissant toujours guider par ce principe que l'intensité du courant est maximum, quand la résistance intérieure est le plus rapprochée possible de la résistance extérieure.

Le médecin qui n'a à sa disposition que 2 éléments Bunsen associe les accumulateurs en batterie au moment de la charge. Il peut les grouper en série au moment de la décharge. Planté a construit un commutateur qui permet de passer facilement de l'un à l'autre de ces modes d'association.

244. — Applications médicales. — Les accumulateurs sont heureusement employés en médecine depuis quelques années pour la galvanocaustique et pour amener à l'incandescence les lampes qui servent à l'éclairage des cavi-

tés naturelles. L'accumulateur chargé renferme une provision d'électricité que le médecin peut utiliser à son gré.

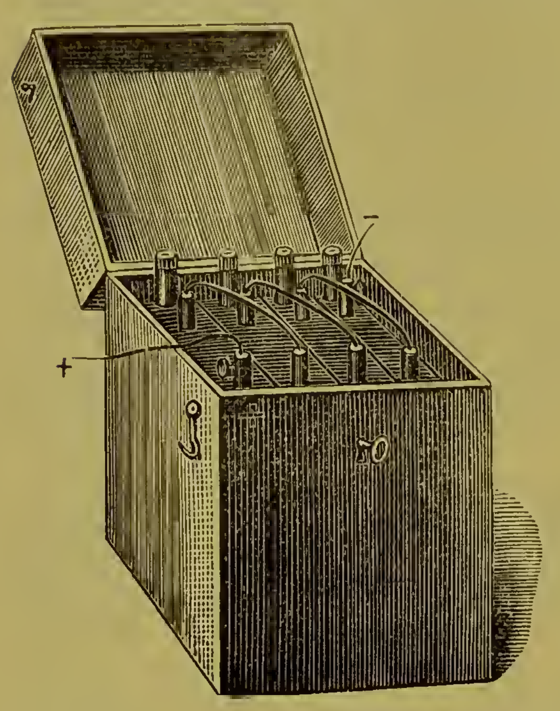


Fig. 149. — Accumulateur médical de la maison Blänsdorf (de Francfort).

Des accumulateurs peuvent être facilement transportés pour les opérations au domicile du malade. On transporte l'accumulateur vide. Le liquide est logé dans des flacons. Au moment de l'opération on introduit le liquide dans l'accumulateur, qui a conservé toutes ses propriétés.

A l'Institut de Brunswick, à Francfort-sur-le-Mein, on emploie des accumulateurs disposés dans une caisse qui a les dimensions d'une boîte de cigares. Rempli, l'accumulateur pèse 5 kilogr. 500. Il reste chargé 2 mois. Il peut alimenter une lampe de 8 volts pendant 20 heures et maintenir incandescent un épais galvano-cautère pendant 1 heure 1/2. Sa charge dure 3 heures. Son prix est de 62 fr. 50. Sa charge, qui se fait à la station centrale d'électricité, coûte 1 fr. 25.

La fig. 149 représente un accumulateur médical construit par la maison Blänsdorf (de Francfort).

CHAPITRE XI.

APPLICATIONS MÉDICALES DE L'ÉLECTROLYSE

L'électrolyse est utilisée en médecine : 1° pour la cautérisation des tissus ; 2° pour la coagulation du sang dans les anévrismes.

245. — Galvanocaustique chimique. — La cautérisation est une conséquence des actions secondaires des produits de l'électrolyse sur l'électrolyte.

Nous avons dit que, lorsqu'une solution d'un sel alcalin était décomposée par le courant, le métal mis en liberté sur la cathode négative réagissant sur l'eau de la solution donne naissance à une base, potasse, soude et à de l'hydrogène, tandis que l'acide se porte sur l'anode.

Or les liquides que le courant traverse dans l'organisme, sang, lymphe, etc., sont des liquides alcalins dont la décomposition s'effectue comme celle du sulfate de soude, dans une expérience de laboratoire.

Il est facile de s'assurer que les électrodes mouillées présentent après l'électrolyse, l'une une réaction alcaline, l'autre une réaction acide.

Mais la base et l'acide constituent de véritables caustiques qui détruisent les tissus au niveau des électrodes L'électrolyse peut ainsi donner naissance à des eschares.

L'expérience montre que l'eschare produite par les bases à la cathode est molle, tandis que l'eschare due aux acides à l'anode est dure, rétractile.

On obtient des eschares :

1° En augmentant l'intensité du courant.

Les poids d'acide et de base, mis en liberté dans un

temps déterminé, sont d'après la deuxième loi de Faraday proportionnels à l'intensité des courants.

2° En diminuant la surface des électrodes.

Les produits de décomposition, en même quantité, se répartissant sur une surface plus petite, on augmente l'énergie de leur action caustique ;

3° En prenant des électrodes en métal inoxydable ou en charbon.

Les produits de l'électrolyse restent alors à la surface des électrodes. Si on employait les électrodes ordinaires bien mouillées, les produits de l'électrolyse se dissolvant dans l'eau pourraient faire rougir la peau, mais elles n'en amèneraient pas la mortification.

Les électrodes ne doivent pas être attaquées par le radical à l'anode ni par la base à la cathode.

La cautérisation par l'électrolyse est désignée sous le nom de galvanocaustique chimique pour la distinguer de la galvanocaustique thermique obtenue au moyen du galvanocautère.

Pour faire de la galvanocaustique chimique il faut : 1° une pile médicale de force électromotrice suffisante avec ses accessoires, galvanomètre, collecteur, etc., et des électrodes de forme et de nature convenables.

On distingue l'électrode active qu'on porte au niveau des tissus qu'on veut cautériser et l'électrode indifférente ou neutre dont le point d'application peut varier.

246. Électrode active. — On donne à l'électrode active des formes très différentes suivant le but qu'on se propose. Elle est toujours en métal inoxydable, platine, argent, aluminium ou en charbon. Souvent ce sont des aiguilles (fig. 150-151) recouvertes, sur la partie qui doit rester inactive, de substance isolante, du verre par exemple qui ne fond pas sous l'action de la chaleur et qui est assez mauvais conducteur pour que la chaleur de l'aiguille ne se transmette pas dans le voisinage. Les électrodes peuvent

être aussi recouvertes d'une sonde. Les aiguilles qui servent pour l'électrolyse sont courtes, ce sont alors des conducteurs



Fig. 150. — Aiguille pour électro-puncture.

Fig. 151. — Aiguille pour électro-puncture fixée dans le porte-électrodes.

Fig. 152. — Électrodes d'Apostol pour l'électrolyse. Prix : 60 fr. chez Chardin.

qui offrent au courant une grande résistance et s'échauffent conformément à la loi de Joule. Comme on veut généralement porter l'action du courant sur des régions peu étendues, on perdrait inutilement de l'énergie en donnant à l'aiguille une longueur trop grande. On détruirait inutilement des tissus sains et le malade éprouverait des douleurs plus vives que celles qu'il doit endurer. Les aiguilles étant très

courtes et de section très petite, elles s'échauffent suffisamment pour qu'au niveau de leur pointe deux actions cautérisantes interviennent, celle de l'électrolyse et celle du métal porté à haute température. Ces aiguilles sont dites souvent aiguilles à électro puncture.

Tripier a utilisé pour le traitement des abcès des aiguilles canaliculées permettant l'écoulement facile des liquides pathologiques.

Le plus souvent, pour former l'électrode active, on prend une seule aiguille ; s'il faut porter la cautérisation sur une surface étendue on emploie avec avantage des électrodes comprenant plusieurs aiguilles réunies à un seul porte-électrodes.

Dans le traitement des fibromes utérins par l'électrolyse les D[rs] Apostoli et Danion emploient des électrodes cylindriques. en platine ou en charbon (fig. 152) fixées à une tige conductrice bien isolée.

Dans le traitement du lupus Gärtner et Lustgarten se sont servis d'électrodes dont la partie active est une plaque d'argent.

Dans le cas où la cautérisation doit être localisée sur la face dans le voisinage du cerveau ou des organes des sens on emploie avec avantage les électrodes concentriques de Boudet (fig. 86). On évite ainsi les vertiges, les phosphènes, les bruits subjectifs que produisent les courants de haute intensité se diffusant dans le cerveau, les nerfs optique et acoustique.

247. Électrode indifférente. — On doit éviter le plus possible les actions cautérisantes à son niveau. Contrairement à l'électrode active, elle a toujours une surface très grande et elle est aussi bien mouillée que possible.

L'électrode la plus convenable pour toutes les opérations de l'électrolyse est l'électrode d'Apostoli constituée par une plaque de terre glaise de très grande surface 400 centim. carrés environ, qui s'adapte exactement à la

surface cutanée. Elle est recouverte d'une plaque de plomb reliée par un rhéophore à l'un des pôles de la pile.

Une serviette doublée et bien mouillée, recouverte d'une plaque de plomb, peut être également utilisée. Hirschmann (de Berlin) construit pour le même but des électrodes en plomb recouvertes d'une couche épaisse de mousse.

On a employé également comme électrodes indifférentes l'électrode d'Amussat (fig. 86) constituée par un rouleau conducteur recouvert de feutre bien mouillé, mobile autour d'un axe horizontal soutenu par la partie métallique de l'électrode.

Quelquefois l'électrode présente deux ou plusieurs rouleaux (fig. 153).

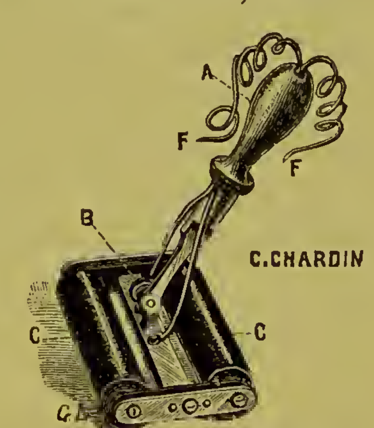


Fig. 153. — Électrode à double rouleau.

Quand on promène cette électrode sur la surface de la peau, les produits de l'électrolyse se répartissent sur une grande surface mouillée et leur action cautérisante est singulièrement atténuée.

248. — Méthode polaire, méthode bipolaire. — Dans les applications de l'électrolyse on n'utilise généralement que l'action caustique d'un seul pôle. La méthode est, comme on le dit, polaire. Rarement on emploie la méthode bipolaire dans laquelle on met à profit les propriétés caustiques des deux pôles.

Dans la plupart des cas on veut obtenir une eschare molle. Aussi c'est la cathode qu'on emploie de préférence surtout dans le traitement des rétrécissements.

Apostoli emploie l'anode pour le traitement de l'endométrite hémorrhagique de la leucorrhée des fibromes.

Il utilise la cathode pour les métrites chroniques, la dysménorrhée et l'aménorrhée.

L'anode, d'après Apostoli, a des propriétés hémostatiques, antiphlogistiques et microbicides.

249. — Technique opératoire. — Dans tous les cas on opère de la même façon, tout au moins pour ce qui regarde la manœuvre des appareils électriques.

L'électrode active est placée sur la région sur laquelle son action doit s'exercer. L'électrode indifférente, aussi large que possible, est appliquée exactement sur une grande surface de la peau. Les électrodes sont reliées à la pile qui est munie d'un collecteur et d'un galvanomètre.

On fait passer le courant en agissant sur le collecteur. On suit l'aiguille du galvanomètre jusqu'à ce qu'elle ait pris la position correspondant à l'intensité qu'on doit obtenir. Pendant que le courant passe, on ne doit pas perdre de vue le galvanomètre, et, en agissant sur le collecteur, on maintient l'aiguille sensiblement à la même position sur le cadran. La séance étant terminée, il faut bien prendre garde d'enlever les électrodes avant d'avoir ramené l'aiguille du galvanomètre au zéro, ce que l'on obtient en replaçant la manette au zéro du collecteur. Sans cette précaution, au moment où les électrodes seraient séparées de la peau, il se produirait un extra-courant de rupture accompagné d'une secousse des plus violentes lorsque le courant atteindrait de hautes intensités.

Si on veut changer le sens du courant dans le cours d'une séance, on emploie avantageusement le collecteur double en agissant sur la manette de l'un ou de l'autre collecteur, la seconde manette restant au zéro (pag. 207).

Il vaut mieux avoir recours, pour le changement de sens du courant, au collecteur double qu'au commutateur ordinaire. Si on avait oublié de ramener le collecteur au zéro avant d'agir sur le commutateur, on pourrait avoir des variations brusques d'intensité.

L'aiguille marquant + 100 milliampères, par exemple, la manœuvre du commutateur l'amènerait à — 100 milli-

ampères. Il se produirait ainsi une variation brusque de $+ 100 - (- 100) = + 200$ milliampères, accompagnés d'une secousse des plus violentes. C'est un accident que le malade pardonne difficilement au médecin.

250.— PRINCIPALES APPLICATIONS DE LA GALVANOCAUSTIQUE CHIMIQUE.— On l'a utilisée avec succès dans le traitement des rétrécissements de toute nature, de l'urèthre, de l'œsophage, du rectum et des voies lacrymales.

Pour les rétrécissements de l'urèthre, Fort emploie une électrode spéciale qu'il désigne sous le nom d'électrolyseur linéaire, dont la partie essentielle est une lame de platine triangulaire qui est amenée au niveau du rétrécissement et qu'on relie au pôle négatif de la pile. L'électrode positive, aussi large que possible, étant appliquée sur la cuisse, on fait passer un courant de 10 à 50 milliampères. L'électrode traverse progressivement le rétrécissement. La séance dure de 2 à 3 minutes.

D'après Fort, on évite, en employant cette méthode, toute hémorrhagie, toute complication ultérieure, et le malade est à l'abri de la récidive.

Le Dr Apostoli utilise avec succés l'électrolyse depuis 1883, dans le traitement des maladies des femmes : métrite, endométrite, troubles de la menstruation, fibromes utérins.

La méthode d'Apostoli se distingue surtout par l'emploi des hautes intensités qui, dans certains cas, ont dépassé 300 milliampères. Les séances durent 5 minutes.

L'électrolyse a été utilisée pour faire disparaître certaines tumeurs pédiculées. On implante dans le pédicule plusieurs aiguilles qu'on met simultanément ou successivement en communication avec l'un des pôles de la pile jusqu'à sa destruction.

On l'a employée également avec succès dans le traitement du lupus. On utilise comme cathode une plaque d'argent qu'on applique sur les régions malades.

Dans le traitement des troubles de la cornée, la cathode électrode active est une lame d'argent à laquelle on donne la forme d'une spatule qui s'adapte exactement au globe de l'œil. L'intensité du courant varie de 0,5 à 1 milliampère. La séance dure 20 secondes.

C'est également à l'electrolyse qu'on a recours pour l'épilation radicale. On emploie pour cela des aiguilles en or qu'on enfonce assez pour atteindre le follicule pileux. L'intensité du courant varie entre 0,5 et 1 milliampère et on le laisse passer pendant 30 secondes. La racine du poil est ainsi complètement détruite.

251. — Traitement des anévrismes. — L'électrolyse a également rendu de bons services dans le traitement des anévrismes. Cette méthode indiquée par Ciniselli repose sur l'expérience suivante : On met de la glaire d'œuf dans un tube en U fermé par deux bouchons traversés par des fils de platine reliés aux deux poles d'une forte pile, on voit la glaire se coaguler à l'anode et devenir au contraire plus liquide à la cathode. Les sels en solution dans le liquide albumineux ont été décomposés : l'acide qui s'est porté sur l'anode a coagulé l'albumine, la base formée à la cathode comme produit secondaire lui a au contraire donné plus de fluidité.

Nélaton et Thénard firent une observation analogue en plongeant dans le tissu musculaire d'un animal vivant deux fils de platine mis en communication avec les deux pôles d'une pile de neuf éléments Bunsen. Au bout de dix minutes, autour de l'anode s'était formé un coagulum dur ; les tissus présentaient au contraire autour de la cathode une sorte de ramollissement.

L'expérience peut également être faite avec du sang.

On le voit se coaguler autour de l'électrode positive.

L'électrode négative est entourée d'une masse spongieuse sans solidité.

La quantité de liquide coagulé croît avec l'intensité du

courant, parce que les quantités d'acide et de base mises en liberté dans un temps donné sont proportionnelles à cette intensité. Cependant on n'obtient de bons résultats qu'avec des courants d'intensité moyenne.

Avec des courants faibles la coagulation est trop lente.

Si les courants sont très intenses, la coagulation se produit très rapidement, mais les gaz qui se dégagent en grande quantité empêchent les diverses parties du coagulum d'adhérer fortement les unes aux autres.

La coagulation une fois commencée se poursuit alors même que le courant ne passe plus. On sait en effet qu'un corps solide introduit dans un vaisseau sanguin provoque la coagulation indépendamment de tout courant.

Le sang coagulé à l'anode joue le rôle de corps étranger sur lequel la fibrine se dépose quand le courant est interrompu.

252. — Choix du pôle. — Les expériences précédentes montrent que l'anode est l'électrode de choix si on veut obtenir la coagulation. On utilise ses propriétés coagulantes en la mettant exclusivement en rapport avec le liquide albumineux. C'est l'électrode active.

253. Technique opératoire. — Elle est identique à celle que nous avons indiquée à propos de l'électrolyse. On implante d'abord (fig. 154) dans le sac anévrismal des aiguilles en métal inattaquable et recouvertes d'un corps isolant sauf à leurs extrémités qui ont la forme de fer de lance. Ces aiguilles pénètrent facilement quand on les enfonce au moyen de l'enfonce-aiguilles de Dujardin-Beaumetz construit par Gaiffe (fig. 155).

On rend la coagulation plus rapide en utilisant plusieurs aiguilles réunies à un même porte-électrodes (fig. 156).

L'électrode indifférente est très large. On peut utiliser l'électrode en argile d'Apostoli. On la place sur l'abdomen du malade.

Les deux électrodes sont réunies à la pile et le commu-

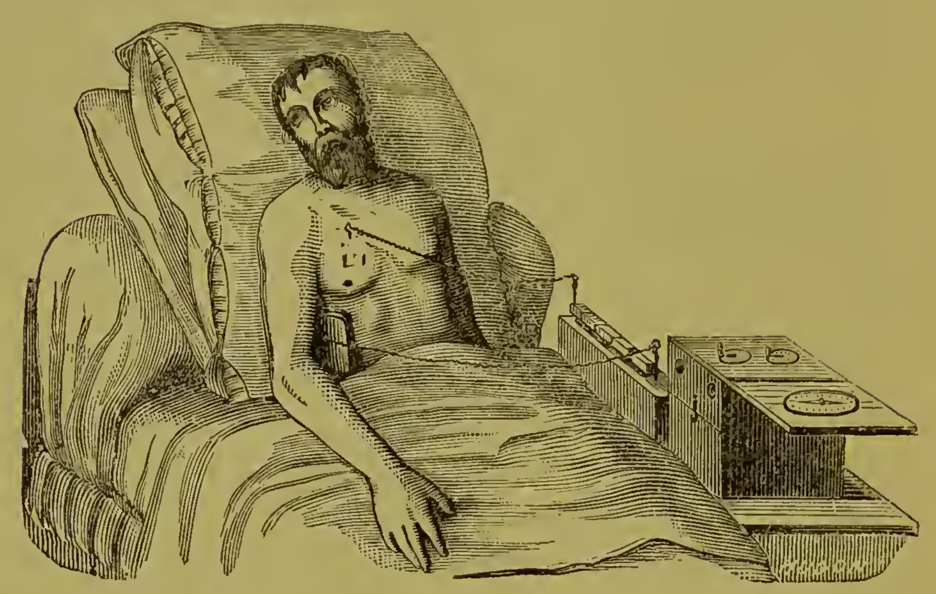


Fig. 154. — Traitement des anévrismes.

tateur est tourné de façon que les aiguilles soient reliées au pôle positif. On agit sur le collecteur et on augmente pro-

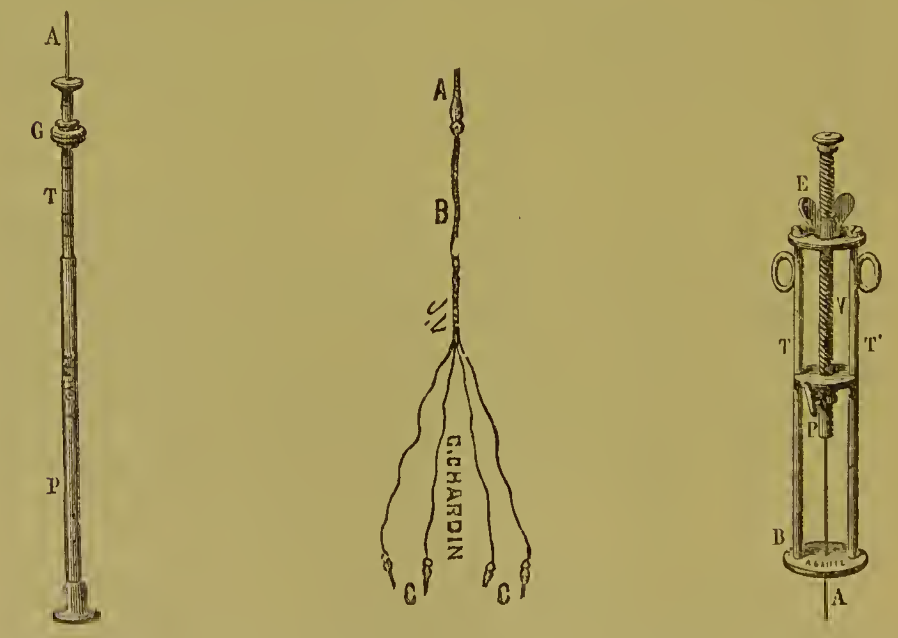


Fig. 155. — Enfonce aiguilles.

Fig. 156. — Porte-électrodes. Le rhéophore A B se termine par plusieurs conducteurs reliés aux aiguilles C C.

Fig. 157. — Tire-aiguilles.

gressivement l'intensité qu'on lit sur le galvanomètre.

De Watteville conseille les intensités comprises entre 20 et 30 milliampères[1].

La première séance peut durer une demi-heure. Pour les séances ultérieures on se laisse guider par les résultats obtenus. Si la coagulation marche bien on pourra rendre les séances plus courtes.

A la fin de l'opération on ramène l'aiguille du galvanomètre au zéro avant de déplacer les électrodes.

On enlève les aiguilles en leur imprimant un léger mouvement de rotation pour les séparer du coagulum. Gaiffe construit des appareils dits tire-aiguilles qui rendent facile ce dernier temps de l'opération (fig. 157).

Les piqûres sont recouvertes d'une couche de collodion, et par-dessus l'anévrisme on applique une vessie pleine de glace. L'opération, quand elle est bien menée, ne cause aucune douleur. Cependant, si on a affaire à des personnes très nerveuses, il convient une heure avant l'opération de de leur faire une injection de morphine.

L'opération peut être répétée toutes les semaines.

On pourrait craindre que la coagulation ne produise une embolie. Jusqu'à présent aucun accident de cette nature n'a été constaté (Watteville).

Cette méthode n'a pas encore donné de guérison dans les cas d'anévrisme de l'aorte. Mais les malades éprouvent une amélioration véritable. Les douleurs sont en tout cas singulièrement atténuées. La méthode a au contraire donné de réels succès dans les cas d'anévrismes des artères secondaires. On emploie dans ce cas des courants ayant une intensité de 5 milliampères qu'on laisse passer cinq minutes.

L'électrolyse peut rendre des services dans tous les cas où on a à traiter une tumeur pathologique renfermant un liquide albumineux. C'est ainsi qu'on l'a utilement utilisée dans le traitement des angiomes, des varices, des bourrelets hémorrhoïdaux, des nœvi.

[1] De Watteville; *Abrégé d'électrothérapie.*

Il ne faut pas oublier que, dans ces applications de l'électrolyse, les phénomènes interpolaires désignés sous le nom de catalytiques se produisent et se poursuivent quand la communication avec la pile est supprimée. De là ces phénomènes de résorption observés en plongeant une électrode dans une tumeur, fibrome, kyste de l'ovaire, hydrocèle, kyste hydatique. Dans ce dernier cas, d'après les observations de Tripier, c'est la cathode qui doit être l'électrode active.

CHAPITRE XII.

ÉLECTRO-AIMANTS.

---

254. — Aimantation par les courants. — Le courant passant dans un fil conducteur isolé, enroulé en spirale autour d'un barreau de fer ou d'acier, celui-ci s'aimante.

L'aimantation est temporaire avec un barreau de fer doux, c'est-à-dire de fer absolument pur. Elle disparaît aussitôt que le courant cesse de passer.

L'aimantation est au contraire permanente avec un barreau d'acier.

Le fer que l'on emploie, n'étant jamais rigoureusement pur, conserve après le passage du courant une légère aimantation; c'est ce que l'on appelle du magnétisme rémanent.

Le pôle austral de l'aimant est toujours à la gauche du courant, c'est-à-dire à la gauche de l'observateur d'Ampère regardant le barreau et disposé de telle sorte que le courant entre par les pieds et sorte par la tête.

255. — Procédés d'aimantation. — On peut donc obtenir des aimants en plaçant une aiguille ou un barreau d'acier dans une spirale de fil de cuivre isolé qu'on fait traverser par un courant. Il vaut mieux employer le procédé suivant.

Le fil de cuivre isolé est enroulé sur une bobine creuse en bois qu'on dispose autour du barreau placé verticalement. Le courant passant dans la bobine, on la promène le long du barreau alternativement de haut en bas et de bas en haut. Si le barreau est en fer à cheval, on l'aimante en promenant une bobine le long de chaque branche. Les enrou-

lements du fil sur les deux bobines sont de sens contraire. Elles sont traversées par le même courant et on les fait descendre et monter simultanément.

256. Électro-aimants. — Les électro-aimants sont des aimants temporaires. Ils sont droits ou en fer à cheval. On obtient un électro-aimant droit en plaçant au centre d'une bobine en bois, en cuivre, en ébonite, un barreau de fer aussi pur que possible, qu'on appelle le noyau de l'électro-aimant. Autour de la bobine on enroule un grand nombre de fois en hélices superposées un fil de cuivre isolé.

Un électro-aimant en fer à cheval est formé par deux électro-aimants droits ; les deux noyaux en fer doux sont réunis à une de leurs extrémités par une pièce en fer nommée culasse. Autour de chaque noyau est une bobine, et sur les deux bobines le fil est enroulé en sens contraire. Un pareil électro-aimant doit en effet être considéré comme un électro-aimant droit qu'on aurait recourbé ; et il est facile de voir que, si on construit un électro-aimant rectiligne, qu'on le recourbe ensuite pour en faire un électro-aimant en fer à cheval, les portions de spirales qui entourent chaque barreau sont enroulées en sens contraire.

Ruhmkorff a construit en vue de certaines expériences un électro-aimant (fig. 158) disposé de telle façon que les pôles de nom contraire soient en regard. Les axes des deux bobines M N sont sur le prolongement l'un de l'autre. Elles sont montées sur des curseurs O O′ en fer doux qu'on peut faire glisser sur une traverse également en fer doux K. Des vis de serrage permettent de les maintenir dans une position déterminée. Sur les noyaux se vissent des prolongements de formes différentes suivant les applications. Si on dispose entre les prolongements polaires une aiguille d'acier, de fer, de nickel, de cobalt, mobile dans un plan horizontal, elle se dirige axialement suivant la ligne des pôles. Toutes les substances qui, placées ainsi dans le champ de l'élec-

tro-aimant, se dirigent axialement, sont appelées substances magnétiques.

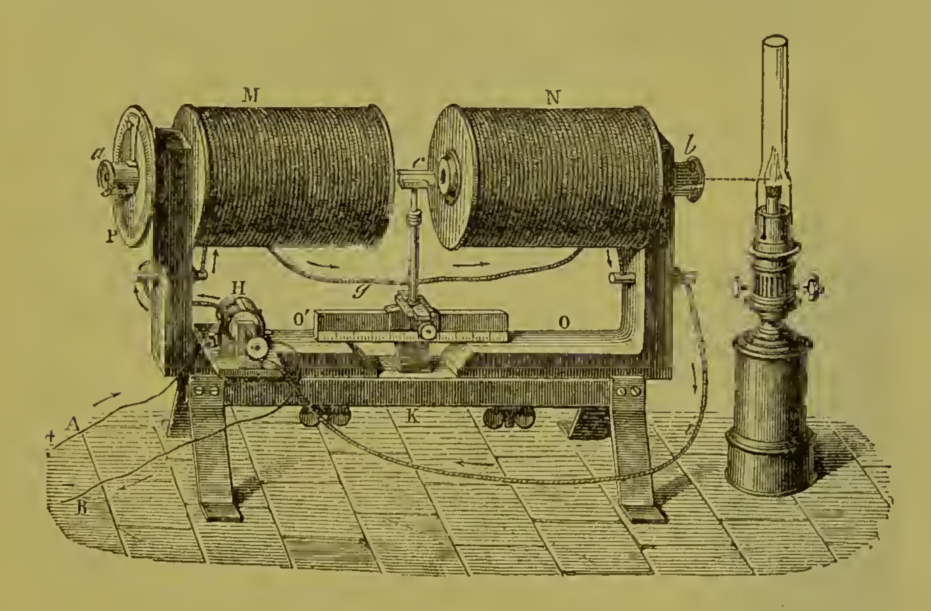


Fig. 158. — Électro-aimant de Ruhmkorff.

Une aiguille de bismuth mobile de la même façon se dirige au contraire de telle sorte que son axe est perpendiculaire à la ligne des pôles. Le bismuth et toutes les substances jouissant de la même propriété sont appelés diamagnétiques.

Il peut être intéressant pour le médecin de savoir que la chair musculaire, le sang frais sont des substances diamagnétiques.

257. Armatures. — Les électro-aimants sont ordinairement utilisés pour déplacer des pièces de fer doux qu'on dispose devant leurs pôles et qu'on nomme armatures. Dans les électro-aimants droits on n'utilise que la force attractive d'un seul pôle. On met à profit la force attractive des deux pôles dans les électro-aimants en fer à cheval. Quand le courant passe dans l'électro-aimant, l'armature est attirée. Le courant cessant de passer, l'armature ne se détache pas à cause du magnétisme rémanent. On évite cet inconvénient en munissant les armatures de ressorts antagonistes assez puissants pour vaincre la force d'attraction

produite par le magnétisme rémanent et ramener l'armature à sa position d'équilibre.

Si l'armature venait en contact avec le noyau, les pôles développés dans le noyau par le passage du courant pourraient être maintenus par les pôles de nom contraire développés dans l'armature, et, malgré la présence du ressort antagoniste, l'armature ne se détacherait pas, le courant cessant de passer. C'est pour cela que dans certains électro-aimants on limite l'excursion de l'armature par des arrêts convenables. Dans d'autres, le contact avec le noyau est empêché en recouvrant les portions polaires du noyau soit d'une feuille de papier, soit d'une lame de cuivre mince.



Fig. 159 — Électro-aimant de Chardin pour l'extraction des substances magnétiques.

258. — Applications médicales. — Les électro-aimants sont utilisés dans certains appareils médicaux, ils forment aussi la partie essentielle d'appareils enregistreurs employés en physiologie.

Chardin, construit pour l'extraction des fragments de fer ou d'acier fixés sur la cornée ou qui ont pénétré dans l'œil, un électro-aimant droit (fig. 159) dont le noyau est prolongé par des tiges terminées en pointe mousse qu'on peut placer dans le voisinage du corps étranger.

Les électro-aimants peuvent être employés comme les aimants dans le traitement de certains symptômes de l'hystérie, et en particulier de l'anesthésie (pag. 119).

Trouvé a utilisé l'électro-aimant dans son appareil explorateur destiné à la recherche des corps étrangers métalliques (fig. 160) logés dans les tissus. Le principe de



Fig. 160. — Appareil de Trouvé pour la recherche des corps métalliques dans les plaies.

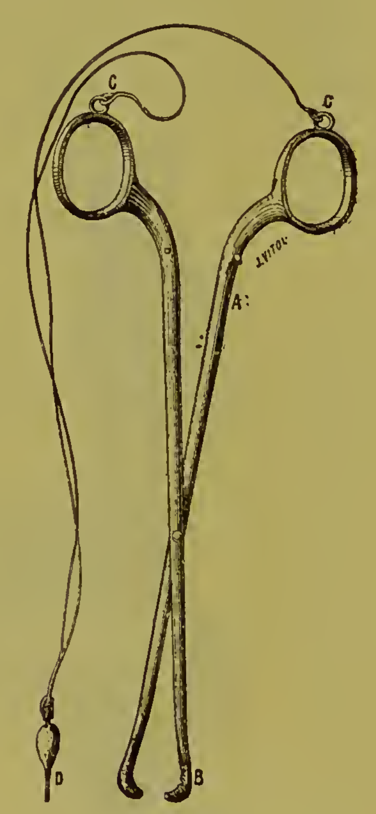


Fig. 161. — Extracteur de Trouvé.

cet appareil se comprend facilement. Supposons un électro-aimant disposé comme celui d'une sonnerie électrique. On sait que l'armature est un morceau de fer doux relié par une lame élastique à une pièce métallique fixe rattachée à un des bouts du fil de l'électro-aimant. Lorsque le courant ne passe pas, l'armature repose sur un ressort rattaché à un des pôles de la pile. Supposons maintenant que le 2e pôle et le 2e bout du fil de l'électro-aimant soient mis

en communication avec deux tiges métalliques séparées l'une de l'autre ; le courant ne passe pas et l'armature n'est pas attirée. Elle le sera au contraire si l'intervalle qui sépare les extrémités des deux tiges est comblé par un corps métallique conducteur. Le circuit étant alors fermé, l'armature oscille comme le marteau d'une sonnette électrique. Dans l'appareil de Trouvé, les deux tiges métalliques isolées sont disposées dans une sonde que l'on introduit dans le trajet suivi par le corps étranger. Les extrémités des deux tiges qui dépassent la sonde rencontrent-elles un fragment métallique, l'armature se met à trembler. Lorsqu'on est certain de la présence d'un corps étranger dans les tissus, on remplace la sonde par un extracteur formé de deux branches isolées (fig. 161) A B mobiles autour d'un même axe en substance isolante. Les deux branches se terminent d'un côté par un anneau qu'on relie soit à l'électro-aimant, soit à un des pôles de la pile. Les deux autres extrémités sont recourbées et permettent de saisir le projectile, lorsque le trembleur indique qu'il se trouve entre les mors de la pince.

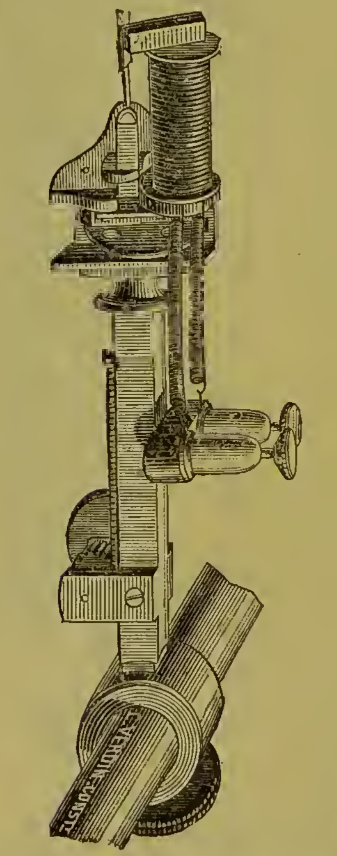


Fig. 162. — Signal de Verdin. L'électro-aimant rectiligne est terminé par une pièce polaire qui dépasse la bobine. Au moment du passage du courant, l'armature entraînée se déplace tangentiellement à la pièce polaire.

En physiologie on utilise les électro-aimants dans les signaux électriques et dans les électro-diapasons. Les premiers servent à indiquer le moment précis du commencement d'un phénomène. Les seconds permettent d'évaluer les fractions de seconde.

259. — Signaux électriques. — La partie essentielle est toujours un électro aimant (fig. 162). L'armature mobile est liée à un style inscripteur.

Lorsque le courant passe, l'armature est attirée par un pôle ou par les deux pôles de l'électro-aimant, et le déplacement se communique au style.

Le courant cessant de passer, l'armature est ramenée à sa position d'équilibre au moyen d'un ressort antagoniste. A cause de la legèreté de l'armature, ces déplacements se produisent presque instantanément. Si devant la pointe tourne un cylindre enregistreur, le style trace dans sa position d'équilibre une ligne circulaire ou héliçoïdale régulière. Lorsque le courant passe, puis est interrompu, les deux mouvements de sens contraire du style s'accusent sur le tracé par un crochet.

260. — Électro-diapason. — C'est un diapason ordinaire (fig. 163) dont une des branches sert d'armatures

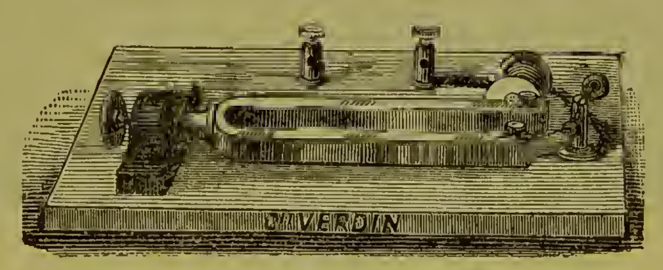


Fig. 163. — Électro-diapason de Verdin.

à un électro-aimant. L'électro-aimant est souvent placé entre les deux branches du diapason qui servent toutes deux d'armatures.

L'appareil fonctionne comme une sonnerie électrique, le diapason étant relié à un des bouts du fil de l'électro-aimant et touchant, lorsque l'appareil ne fonctionne pas, un ressort ou une pointe en communication avec l'un des pôles d'une pile. L'autre pôle est relié au deuxième bout du fil de l'électro-aimant. Le diapason entre en vibration, et les mouvements se transmettent à un style qui trace sur un

tambour enregistreur une ligne sinueuse. Chaque sinuosité correspond à une vibration complète.

261.—Détermination du temps perdu dans la secousse musculaire. — Un exemple fera comprendre l'utilité des deux appareils que nous venons de décrire.

On sait qu'un muscle n'obéit pas immédiatement à une excitation qu'on porte sur lui. Entre le moment où il est excité et le moment où il se contracte, il se passe un temps très court appelé le temps perdu et qu'il s'agit d'apprécier. En reliant un style à un muscle qui se contracte, le style trace sur le tambour enregistreur une courbe sinueuse dont la forme caractérise les contractions. Supposons que le même tambour enregistreur reçoive les 3 tracés correspondant l'un au signal, le 2e au diapason, le 3e au style relié au muscle (fig. 164). Supposons en

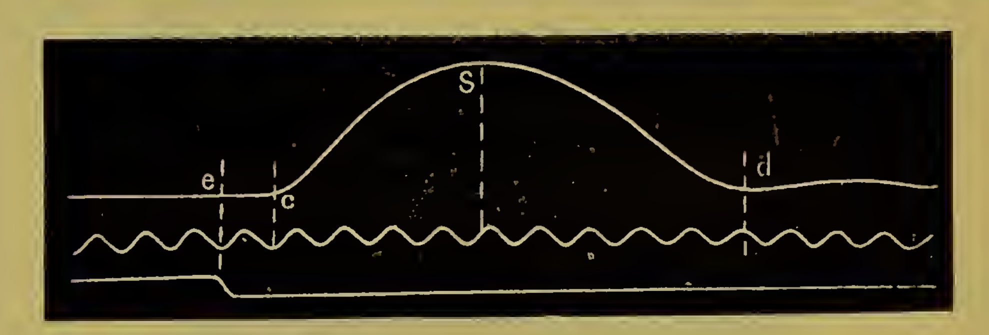


Fig. 164. — Le tracé supérieur est celui du style porté par le muscle. Le deuxième est celui du diapason. Le tracé inférieur est celui du signal.

outre que le signal et la bobine servant à l'excitation soient sur le même circuit, de telle sorte qu'au même moment le courant passe dans l'électro-aimant du signal et dans la bobine d'induction. L'excitation se produit au moment où le style du signal a tracé le crochet *e*. Le muscle a commencé à se contracter, lorsque le style qui lui est lié s'est déplacé pour tracer la courbe C S D, car tant qu'il ne se contracte pas, le style trace la droite *e* C. Si donc on mène aux tracés les perpendiculaires communes en *e* et en C, le nombre de sinuosités comprises entre elles sera le nombre d'oscillations doubles

du diapason pendant le temps que le muscle excité a continué à tracer la ligne *c* C, c'est-à-dire pendant le temps perdu. Si le diapason effectue 30 vibrations doubles par seconde, on trouve qu'entre les deux perpendiculaires il y a une sinuosité. Le temps perdu est donc $\frac{1}{30}$ de seconde.

262. — Électro-diapason et névralgies. — L'électro-diapason a été utilisé par les Drs Boudet et Vigouroux pour traiter certains points névralgiques.

La planche qui soutient l'électro diapason (fig. 165) porte

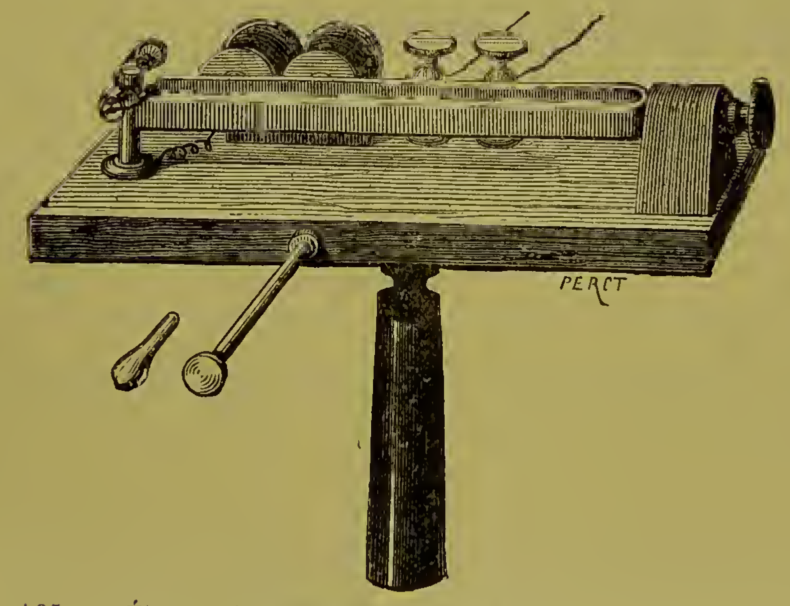


Fig. 165. — Électro-diapason monté sur une planche mobile pour le traitement des névralgies.

pour cette application une tige terminée par un bouton qu'on applique sur la région douloureuse. L'électro-diapason étant en mouvement, ses vibrations se transmettent à son support. De là elles se propagent par la tige et par le bouton jusqu'au nerf. Dans bien des cas, une application de 5 à 6 minutes est suffisante pour faire disparaître la douleur.

A la Salpêtrière, on a fait disparaître l'hémianesthésie localisée au membre supérieur, en l'introduisant dans la

caisse de résonance d'un électro-diapason qu'on mettait en vibration. L'action mécanique se transmettait par l'air au lieu de se transmettre par une tige solide comme dans l'appareil de Boudet.

Ces premiers essais de traitement des maladies nerveuses par des ébranlements mécaniques rythmés ont été repris dans ces derniers temps au moyen de dispositions plus ou moins compliquées. Quel que soit le procédé employé, fauteuil trépidant, casque vibrant, on a toujours constaté, comme les Drs Boudet et Vigouroux, qu'un mouvement vibratoire transmis à une région plus ou moins étendue de la surface cutanée combattait heureusement certains symptômes hystériques ou neurasthéniques.

ÉLECTRICITÉ FARADIQUE

CHAPITRE PREMIER.

PRINCIPES FONDAMENTAUX.

263. — Définitions. — Nous avons dit au début que nous appelons électricité faradique l'électricité développée dans les appareils d'induction.

On entend par induction le développement de courants dans un circuit fermé à l'état naturel, sous l'influence de courants ou d'aimants voisins.

Ceux-ci s'appellent courants ou aimants inducteurs.

Les courants développés sous leur influence sont désignés sous le nom de courants induits ou de courants faradiques.

C'est Faraday qui a découvert les phénomènes d'induction en 1831, Helmholtz les a rattachés au principe de la conservation de l'énergie.

Rappelons les circonstances de leur production.

264. — Production de courants induits par les courants. — Les courants donnent naissance à des courants induits : 1° Par déplacement (fig. 166); 2° Par variation d'intensité ; 3° Par fermeture et interruption (fig. 167).

1° Déplacement.

Le courant inducteur s'approche. — Courant induit inverse.
— s'éloigne — direct.
Inverse c'est-à-dire de sens contraire au courant inducteur.
Direct — de même sens que le —

2° Variation d'intensité.

Le cour. induct. augmente d'int. — Courant induit inverse.
— diminue — — direct.

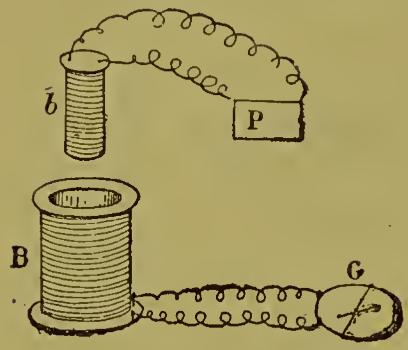


Fig. 166. — Production de courants induits par les courants. Déplacement du courant inducteur. — P pile. *b* bobine inductrice. B bobine induite dont le fil est relié au galvanomètre G.

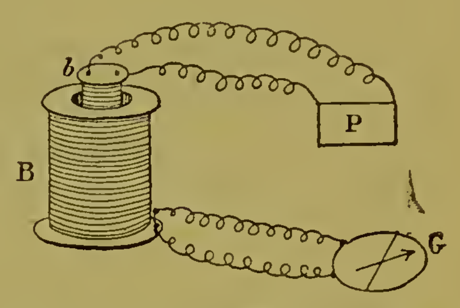


Fig. 167. — Production de courants induits par les courants. — Fermeture et interruption du courant inducteur. P pile. *b* bobine inductrice. B bobine induite. G galvanomètre.

3° Fermeture et interruption.

1° Le courant inducteur est fermé. — Courant induit inverse.
2° — interrompu. — direct.

265. — Les aimants peuvent être assimilés a des courants. — Ampère a démontré qu'un aimant jouit de toutes les propriétés des solénoïdes, c'est-à-dire d'un ensemble de courants circulaires fermés et égaux tous parallèles entre eux, tous perpendiculaires à une même ligne passant par leurs centres.

La direction des courants circulaires du solénoïde (fig. 168) dont la considération peut être substituée à celle d'un aimant s'obtient au moyen des deux règles suivantes :

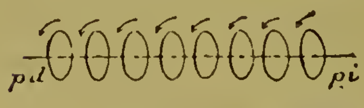


Fig. 168. — Solénoïde théorique.

1° On imagine un observateur regardant l'aimant et placé perpendiculairement à son axe de façon à avoir à gauche le pôle austral. Les courants circulaires sont dirigés des pieds à la tête.

2° On met devant soi le pôle austral, la direction des courants circulaires est de sens inverse à celui du mouvement des aiguilles d'une montre. Il est de même sens si on regarde le pôle boréal.

S'il est impossible d'obtenir un système de courants circulaires parallèles et indépendants, on réalise à peu près les conditions d'un solénoïde en enroulant en hélice sur une bobine une ou plusieurs couches d'un fil de cuivre recouvert de soie.

266. — Application médicale. — Les solénoïdes ont été utilisés de la façon suivante, par le Dr Boudet.

Sur une bobine il enroule en hélice 5 à 6 couches d'un gros fil de cuivre isolé.

La bobine maintenue à une hauteur convenable au moyen d'une tige de fer est placée autour de la tête du malade (sans le toucher), au niveau de l'arcade sourcilière en avant et de la bosse occipitale en arrière. On la fait traverser par le courant de six grands éléments au bichromate. L'intensité du courant est d'environ 8 Ampères.

Pour certains auteurs la bobine se comporte comme l'aimant de Faraday et agit sur les substances magnétiques et diamagnétiques cérébrales. D'autres font intervenir des courants hypothétiques cérébraux qui s'orienteraient sous l'influence des courants du solénoïde.

Quelle que soit l'interprétation, il est certain que ce solénoïde produit d'excellents effets dans certaines maladies cérébrales.

D'après Boudet, deux malades du service du Dr Voisin atteintes d'aliénation mentale (sans lésion bien entendu), ont été guéries grâce à l'application de son appareil[1].

267. — Production de courants induits par les aimants. — Un aimant ayant les propriétés des solénoïdes, c'est-à-dire des courants, on conçoit qu'on puisse produire

[1] *Électricité médicale* ; par le Dr Boudet, pag. 285.

des courants induits avec les aimants comme avec les courants.

On obtient en effet des courants induits dans un circuit fermé avec les aimants : 1° par déplacement de l'aimant inducteur ; 2° par sa variation d'intensité (fig. 169) ; 3° par son établissement ou sa suppression (fig. 170).

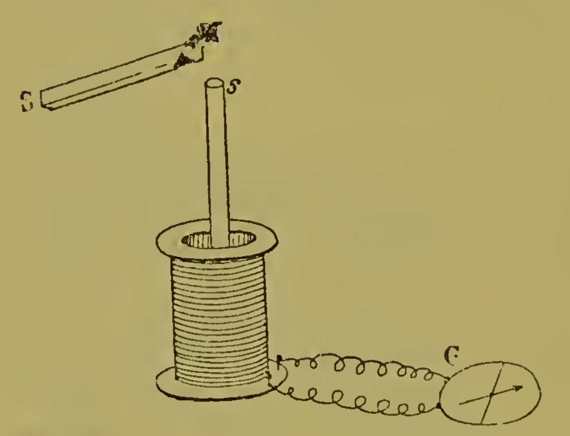


Fig. 169 — Production de courants induits par variation d'intensité de l'aimant inducteur. — S aimant. *s* cylindre en fer doux. B bobine induite. G galvanomètre.

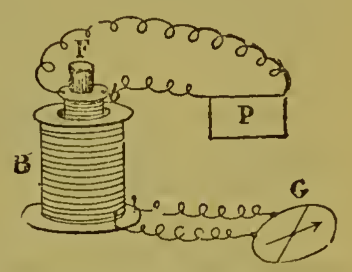


Fig. 170. — Production de courants induits par établissement et suppression du courant et de l'aimant inducteur. — P pile. *b* bobine inductrice. F noyau en fer doux. B bobine induite. G galvanomètre.

1° Déplacement.

L'aimant inducteur s'approche. — Courant induit inverse
— s'éloigne. — direct.
C'est-à-dire de sens contraire à ceux de l'aimant considéré comme solénoïde.
Direct c'est-à-dire de même sens.

2° Variation d'intensité.

L'aimant induct. aug d'intensité. — Courant induit inverse.
— diminue — — direct.

3° Établissement et suppression.

L'aimant inducteur est établi. — Courant induit inverse.
— supprimé. — direct

268. — Principe de Faraday. — Les notions que nous avons données à propos du magnétisme (pag. 114) sur le champ magnétique, son intensité, les lignes de force, sont

souvent d'un grand secours pour comprendre les effets d'induction produits par les courants. Faraday a établi le principe suivant.

Lorsqu'un fil conducteur fermé se déplace dans un champ magnétique variable, il y a production dans le fil d'un courant induit dont la force électromotrice est proportionnelle : 1° A l'intensité de la partie du champ qu'il traverse ; 2° à la vitesse du déplacement ; 3° à la longueur du fil plongé dans le champ.

C'est ce qu'exprime la formule

$$E = LVH$$

E force électromotrice ; L longueur du fil, V vitesse du déplacement et H intensité du champ.

Quant au sens du courant, il est donné par la règle pratique suivante.

Si un observateur couché le long de la portion considérée du fil regarde dans la direction positive des lignes de force ; si de plus il est disposé de façon que le déplacement se produise vers sa gauche, le courant marche de la tête aux pieds de l'observateur.

On entend par direction positive des lignes de force en un point la direction suivant laquelle se déplacerait un pôle nord ou austral placé en ce point.

Prenons pour exemple le cas réalisé dans la machine Gramme (fig. 171). Un aimant puissant AB développe dans un noyau de fer doux circulaire compris entre ses pôles deux pôles de nom contraire A′ et B′. L'expérience montre que dans l'intérieur de l'anneau il n'y a presque pas de lignes de force, l'anneau se comportant comme un véritable écran. Le champ peut être considéré comme se réduisant aux portions de l'espace comprises entre A et B′, d'un côté A′, et B de l'autre. L'aimant étant puissant, les lignes de force sont toutes parallèles entre elles et équidistantes ; le champ est uniforme. La direction positive des

lignes de force est, d'après ce que nous venons de dire, entre A et B, la direction f, et entre A′ et B′ la direction f'.

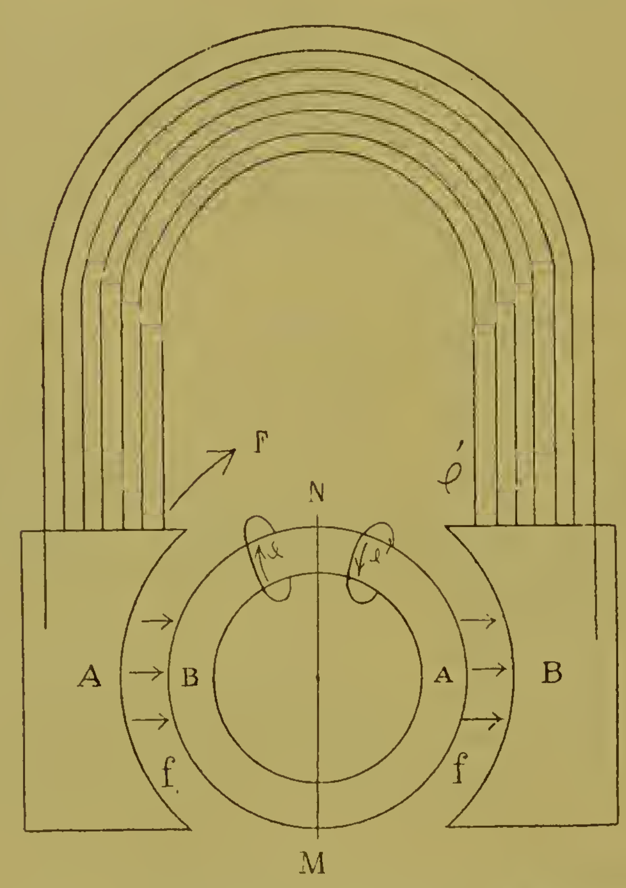


Fig. 171 — Schéma pour faire comprendre la production des courants induits dans la machine de Gramme.

Supposons qu'un circuit fermé se déplace le long de l'anneau dans le sens de la flèche F. Si on considère la portion qui est en dehors de l'anneau, la seule qui se déplace par rapport aux lignes de force, on voit que, conformément à la règle précédente, elle sera traversée par un courant allant dans le sens de la flèche quand le déplacement aura lieu de M en N en passant par B′.

De N en M en passant par A′ cette même portion du fil est traversée par un courant de sens contraire, dans le sens de la flèche φ′. Nous verrons bientôt l'utilité de ces considérations pour l'explication des courants développés dans la machine de Gramme.

269. — Loi de Lenz. — Tous les phénomènes d'induction sont une vérification de la loi suivante due à Lenz, physicien russe.

Tout déplacement relatif entre un circuit à l'état naturel fermé et un courant donne naissance à un courant induit capable de produire un déplacement inverse de celui qui a été effectué.

On sait que deux courants parallèles et de sens contraire se repoussent (fig. 172).

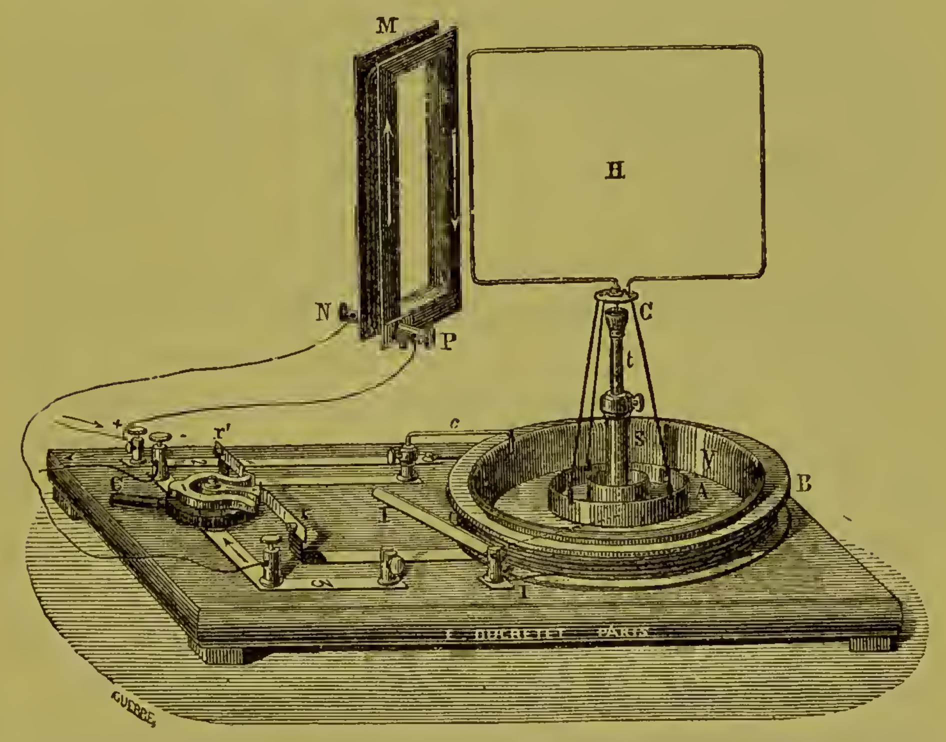


Fig. 172. — Expérience pour démontrer les actions des courants parallèles. Le cadre du galvanomètre et l'équipage mobile sont traversés dans leurs parties voisines par des courants de même sens ou de sens contraire.

Or nous avons dit que le rapprochement d'un conducteur traversé par un courant d'un conducteur parallèle à l'état neutre développe dans celui-ci un courant de sens contraire qui provoque une répulsion entre les conducteurs, c'est-à-dire un mouvement de sens contraire à celui qui a été produit pour obtenir un courant induit.

Un aimant pouvant toujours être assimilé à un courant, la loi de Lenz s'applique à tout déplacement relatif entre un aimant et un conducteur à l'état naturel.

Cette loi nous fait comprendre les phénomènes d'amortissement produits par une masse de cuivre rouge qui enveloppe une aiguille aimantée mobile.

L'aiguille se comporte comme un courant qui dans son déplacement par rapport à la masse de cuivre développe dans celle-ci des courants induits. D'après la loi précédente, ils ont une direction telle qu'ils s'opposent au mouvement des courants de l'aiguille. Ils en arrêtent rapidement les oscillations.

On ne trouve guère en France ces amortisseurs en cuivre, que dans les galvanomètres employés dans les laboratoires de physiologie. Les galvanomètres médicaux allemands d'Edelmann, d'Hirschmann en sont munis.

270. — Extra-courant. — On appelle extra-courant un courant d'induction développé dans le fil inducteur lorsque le courant qui le traverse subit une variation d'intensité, lorsqu'il commence et lorsqu'il finit par exemple.

L'extra-courant, peu sensible lorsque le fil inducteur est rectiligne, est bien accusé lorsque le circuit inducteur comprend une bobine. Il est plus énergique encore lorsqu'un noyau de fer doux est dans l'intérieur de la bobine.

On explique la formation des extra-courants de fermeture et de rupture, les seuls qui intéressent le médecin, en disant que le courant inducteur n'est pas établi au moment de la fermeture ni supprimé au moment de la rupture dans toutes les parties du fil à la fois.

Au moment de la fermeture, le courant a déjà pénétré dans certaines parties du fil, alors que les autres sont encore à l'état naturel.

Les premières agissent par induction sur les secondes en donnant naissance à l'extra-courant de fermeture.

De même à la rupture, le courant a cessé de passer dans certaines parties du fil alors qu'il existe encore dans d'autres parties. Celles-ci agissent par induction sur les premières et donnent naissance à l'extra-courant de rupture.

L'extra-courant a été bien étudié par Faraday. Il a démontré que l'extra-courant de rupture est de même sens que le courant inducteur, tandis que l'extra-courant de fermeture est de sens contraire.

On comprend donc que l'extra-courant de fermeture diminue l'intensité du courant inducteur tandis que l'extra courant de rupture l'augmente.

L'augmentation d'intensité produite par l'extra-courant de rupture se manifeste par une étincelle quand la rupture se produit dans un circuit métallique, par une secousse. si le corps humain est dans le circuit.

271. — Applications médicales. — Les extra-courants jouissent de toutes les propriétés des courants induits de fermeture et de rupture.

Les appareils médicaux sont munis de bornes qui permettent de les recueillir et de les utiliser.

L'extra-courant se produit quel que soit le conducteur interpolaire.

Il peut donc s'observer quand ce conducteur est constitué par les rhéophores d'une pile médicale et par le corps humain.

On doit l'éviter avec le plus grand soin pour ne pas causer au malade des douleurs inutiles et en particulier lorsqu'on fait passer le courant dans le voisinage de la tête.

Il ne se produit pas si on n'enlève les électrodes que lorsque la manette du collecteur a été ramenée au zéro.

On l'évite encore en faisant glisser l'électrode sur la surface de la peau ou des cheveux, de façon que la rupture au lieu de se faire brusquement se produise progressivement.

272. — Étude des courants de fermeture et de rupture. — Pour étudier ces courants induits il faut les isoler.

C'est ce que l'on réalise avec une double roue de Masson.

La roue de Masson (fig. 173) est un disque en verre ou en ébonite sur le contour duquel on a fixé une bande métallique présentant des échancrures équidistantes. La bande a donc une partie pleine et une partie dentée. La roue est mobile autour d'un axe B C, et deux ressorts D E appuient, l'un sur la partie pleine, l'autre sur la partie évidée. Cette roue placée dans un circuit comprenant une pile et une bobine est, comme on le voit, un véritable interrupteur et, en lui donnant un mouvement de rotation, on a dans la bobine des courants alternativement interrompus et rétablis.

Autour de cette bobine inductrice B (fig. 174) imaginons

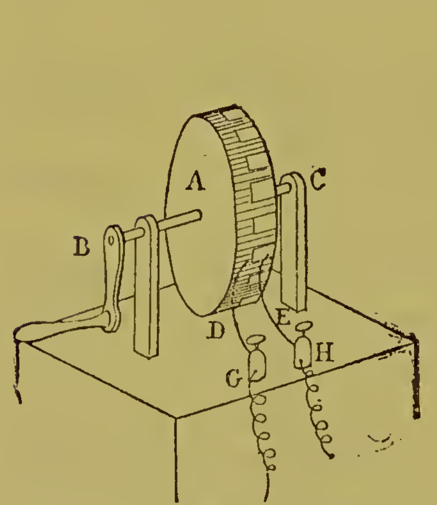


Fig. 173. — Roue de Masson.

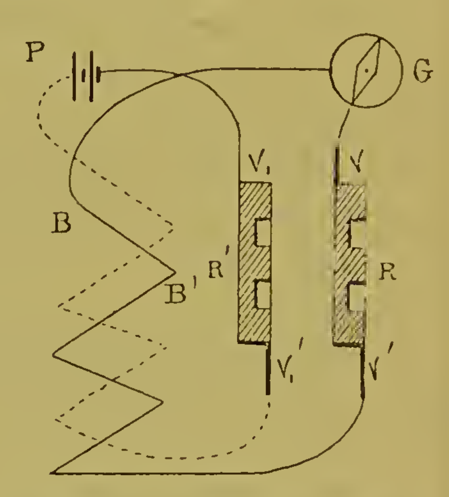


Fig. 174. — Double roue de Masson. Schéma pour montrer la disposition qui permet de recueillir isolément les deux courants induits.

une seconde bobine induite B′ reliée à un galvanomètre, à une seconde roue R′ identique à la première R montée sur le même axe.

Les deux roues sont ainsi animées d'un mouvement de rotation commun. Les courants, alternativement interrompus et rétablis dans la première bobine, donnent naissance à des courants induits dans la seconde. Si les dents des deux roues coïncident, les courants de fermeture passeront seuls dans le galvanomètre. Ce sont, au contraire, les courants d'ouverture qu'on recueillera, si les échan-

crures de la deuxième roue correspondent aux dents de la première.

Les courants induits étant ainsi isolés, on peut étudier leurs diverses propriétés. On constate ainsi qu'ils jouissent de toutes les propriétés des courants galvaniques, qu'ils font dévier l'aiguille du galvanomètre, qu'ils décomposent l'eau acidulée, qu'ils peuvent aimanter une aiguille d'acier, etc. On vérifie également que la loi de Ohm leur est applicable.

Lorsque, en employant la double roue de Masson on donne à l'appareil un mouvement de rotation suffisamment rapide, l'aiguille du galvanomètre prend une position d'équilibre. Le courant qui traverse le galvanomètre n'est pas continu, mais les courants de fermeture ou de rupture se succèdent à intervalles tellement rapprochés que l'aiguille, à cause de son inertie, n'est pas déplacée pendant le temps infiniment petit qui sépare un courant du courant suivant.

Toutes les méthodes que nous avons indiquées pour la détermination de la quantité d'électricité de la force électromotrice de l'énergie des courants continus sont applicables à la mesure des mêmes éléments pour les courants induits.

273. — Quantité d'électricité. — La détermination des quantités d'électricité contenues dans les courants induits de fermeture et de rupture s'obtient au moyen du galvanomètre balistique (pag. 236).

Nous avons dit qu'un courant instantané traversant un pareil galvanomètre, la déviation est proportionnelle à la quantité d'électricité contenue dans le courant.

Or, si on lance dans le galvanomètre successivement un courant induit de fermeture et un courant induit de rupture, on obtient deux déviations égales et de sens contraires.

Les deux courants correspondent donc à des quantités égales d'électricité.

Si on désigne par i et i' les intensités moyennes des

deux courants, par θ et θ' leurs durées, on a $i\theta = i'\theta'$. On peut faire varier l'intensité du courant inducteur et la résistance du circuit induit. On observe que les quantités d'électricité mesurées par le galvanomètre sont proportionnelles à l'intensité du courant inducteur et à la résistance du circuit induit, de sorte que la quantité d'électricité q d'un courant induit peut se représenter par $q = \mathrm{K\,I}\,r$, q étant la quantité d'électricité, K une quantité constante, I l'intensité du courant inducteur et r la résistance du circuit induit.

274. — Rapport des durées des courants induits de fermeture et de rupture. — Supposons que les courants induits, au lieu de passer dans le galvanomètre, soient lancés dans l'électrodynamomètre de Weber (pag. 132). On a deux déviations, qui, comme on le démontre, sont proportionnelles aux carrés des intensités des courants induits et à leur durée. Donc D et D′ étant les deux déviations, on a les relations $\mathrm{D} = \mathrm{K}\, i^2 \theta$ $\mathrm{D'} = \mathrm{K}\, i'^2 \theta'$, K étant une quantité constante. Donc $\frac{\mathrm{D}}{\mathrm{D'}} = \frac{i^2\theta}{i'^2}$, et comme $i\theta = i'\theta'$, on voit que $\frac{\theta}{\theta'} = \frac{\mathrm{D'}}{\mathrm{D}}$.

Tel est le rapport des temps des deux courants.

L'expérience montre ainsi que la durée du courant induit de rupture est beaucoup plus faible que celle du courant induit de fermeture.

Mais puisque les courants induits correspondent à la même quantité q d'électricité égale à $i\theta$,

on a $$q = i\theta. \quad \text{D'où : } i = \frac{q}{\theta}$$

θ étant plus petit pour le courant de rupture que pour le courant de fermeture, il en résulte que l'intensité, et par suite la force électromotrice du courant induit de rupture, est plus grande que celle du courant de fermeture.

M. d'Arsonval[1] a montré le rôle important que joue le temps, et par conséquent la force électromotrice, dans une

[1] D'Arsonval ; *Archives de physiologie*. 1889.

décharge qui correspond à une quantité constante d'électricité.

Le temps d'une décharge est proportionnel à la capacité de la bobine.

On a en effet en se reportant aux formules que nous connaissons (pag. 43 et 139) :

$$q = i\theta = CV \quad (1)$$

q quantité d'électricité, i intensité du courant, θ temps de la décharge, C capacité de la bobine, V différence de potentiel, c'est-à-dire la force électromotrice aux bornes de la bobine.

A cause de la loi de Ohm, on a également :

$$i = \frac{V}{r}, \text{ d'où : } V = ri.$$

Il vient par substitution dans (1)

$$i\theta = Cri, \text{ d'où : } \theta = Cr.$$

La résistance de la bobine étant constante, on voit que la durée de la décharge est proportionnelle à la capacité C. Pour faire varier la capacité de la bobine, M. d'Arsonval met ses deux bornes en communication avec les armatures d'un condensateur, qui est ainsi en dérivation sur la bobine ; si la capacité de la bobine est égale à $\frac{1}{10}$ de microfarad la durée de la décharge sera t, cette durée n'excédant pas dans les appareils courants $\frac{3}{10000}$ de seconde. Si à l'aide du condensateur on rend la capacité 10 fois plus grande on augmente dans le même rapport la durée de la décharge.

Or les décharges très brèves et à haut potentiel excitent surtout les terminaisons nerveuses motrices et sensitives. En allongeant suffisamment la décharge on n'excite presque plus le tissu nerveux tandis que le tissu musculaire est fortement excité.

Ainsi, si à l'aide des tampons mouillés on excite les muscles de l'éminence thénar avec le courant ordinaire,

en même temps que les muscles se contractent violemment on éprouve de vives douleurs. Si on joint à la bobine le condensateur, c'est-à-dire si on ralentit la décharge, en diminuant en même temps la force électromotrice, les muscles se contractent encore, mais toute douleur a cessé. Ce procédé d'expérimentation peut rendre de grands services en clinique pour exciter sans douleur le système musculaire (traitement des déviations utérines et des suites de couche). M. d'Arsonval a en outre montré qu'on pouvait dans les cas de dégénérescence obtenir la contraction musculaire aussi bien avec la bobine munie de son condensateur qu'avec la pile. Dans la réaction de dégénérescence, le muscle, comme nous le verrons, ne répond pas à l'excitation faradique parce qu'elle est trop courte.

275. — Force électromotrice — La force électromotrice $e = i\,r = \frac{rq}{\theta}$ ou bien, puisque (§ 273) $q = \mathrm{K\,I}\,r$,

$$e = \frac{\mathrm{K\,I}\,r^2}{\theta}.$$

La force électromotrice du courant de décharge d'une bobine est donc proportionnelle au carré de sa résistance.

276. — Énergie. — $e\,i = \frac{eq}{\theta} = e \times \frac{\mathrm{K\,I}\,r}{\theta} = \frac{\mathrm{K^2\,I^2}\,r^3}{\theta^2}.$
L'énergie correspondante à une décharge de la bobine est donc proportionnelle au cube de sa résistance.

Ces formules montrent aussi que la force électromotrice, que l'intensité, que l'énergie, dans le courant de rupture sont plus grandes que pour le courant de fermeture, la durée du premier étant beaucoup plus petite que celle du second.

Or les effets physiologiques et thérapeutiques des courants induits dépendent essentiellement de leur force électromotrice.

On comprend dès à présent que dans la plupart des applications médicales on puisse négliger l'action du courant faradique de fermeture et ne tenir compte que du courant de rupture.

La force électromotrice augmente comme nous venons de le voir, proportionnellement au carré de la résistance du circuit induit. C'est pour cela que beaucoup d'appareils faradiques sont munis de bobines de résistance différente (fig. 180). On peut ainsi faire varier la force électromotrice suivant les indications.

La force électromotrice dépendant de l'intensité du courant inducteur, les observations médicales ne peuvent être comparables que si la source électrique qui fournit le courant inducteur ne change pas. C'est aussi pour augmenter cette force électromotrice qu'on donne à la bobine inductrice une faible résistance. On augmente ainsi d'après la loi de Ohm l'intensité du courant qui la traverse.

277.— Intensité moyenne. — Force électromotrice moyenne.— Tout ce que nous venons de dire s'applique à l'intensité moyenne et par conséquent à la force électromotrice moyenne du courant faradique.

C'est qu'en effet un courant induit n'est pas constant. Son intensité, nulle d'abord, croît jusqu'à un maximum et décroît ensuite pour redevenir nulle à la fin du temps pendant lequel il se produit. Représentons la durée des courants faradiques de fermeture et de rupture par des longueurs A B et A′ B′ (fig. 175 et 176), élevons aux divers

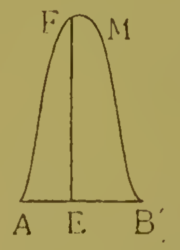


Fig. 175. — Courbe du courant induit de rupture.

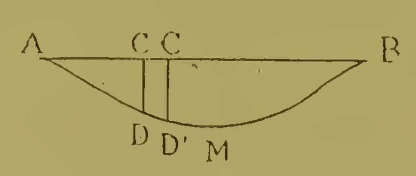


Fig. 176. — Courbe du courant induit de fermeture.

points de ces lignes des perpendiculaires qui représentent

les diverses valeurs des intensités par lesquelles passent les deux courants, les ordonnées étant menées au-dessus de A′ B′ et au-dessous de A B pour indiquer que les courants sont de sens contraire. Réunissant ensuite les sommets de ces perpendiculaires par des courbes continues, nous pouvons suivre la marche de l'intensité des deux courants.

Les aires comprises entre ces courbes et les droites A B A′B′ représentent, comme on peut le démontrer facilement, les quantités d'électricité des deux courants.

D'après ce que nous savons, ces aires sont égales Cela ne peut avoir lieu, A′B′ étant beaucoup plus petit que A B, que si la longueur moyenne des perpendiculaires comprises entre A′B′ et la courbe A′M′B′, longueur qui représente l'intensité moyenne du courant de rupture, est plus grande que la longueur moyenne des perpendiculaires correspondantes à la courbe A M B qui représente l'intensité moyenne du courant de fermeture.

278. — Courants induits de différents ordres. — Nous venons de voir qu'un courant induit était un courant variable.

Son intensité croît d'abord, passe par un maximum puis décroît pour devenir nulle.

Toute variation d'intensité d'un courant donne naissance dans un circuit voisin à un courant induit. L'augmentation aussi bien que la diminution d'intensité du courant induit peuvent donc donner naissance à d'autres courants induits.

Les courants induits développés par le courant inducteur sont appelés courants induits de 1er ordre.

Ceux-ci peuvent produire des courants induits de 2e ordre et ainsi de suite.

D'après ce que nous avons dit plus haut chaque courant induit de 1er ordre donne naissance à deux courants induits de 2e ordre ; chaque courant de 2e ordre produit deux courants de 3e ordre et ainsi de suite.

On a donc deux courants induits de 1er ordre, 4 ou 2^2 courants induits de 2e ordre et en général 2^n courants induits de n^e ordre.

La considération des courants induits de 2e ordre nous permet de comprendre comment les diaphragmes métalliques dont sont munies les petites bobines médicales jouent le rôle de graduateurs.

En enfonçant le graduateur dans l'intérieur de la bobine on diminue l'intensité des secousses.

On l'augmente au contraire quand on fait sortir le graduateur de la bobine.

C'est que le courant inducteur développe dans la bobine induite et dans la masse métallique voisine des courants induits de 1er ordre.

Le courant induit de 1er ordre du graduateur fait naître dans la bobine induite deux courants induits de 2e ordre qui se superposent au courant induit de 1er ordre. Le courant induit résultant contient la même quantité d'électricité que le courant de 1er ordre, mais son intensité moyenne, sa force électromotrice moyenne et par conséquent son action physiologique sont diminuées.

C'est ce que font comprendre les trois courbes I, II et III (fig. 177); I représente le courant induit de 1er ordre; II, les deux courants induits de 2e ordre et III, le courant induit résultant. Les ordonnées de la courbe III ont été obtenues en ajoutant algébriquement les ordonnées de I et II.

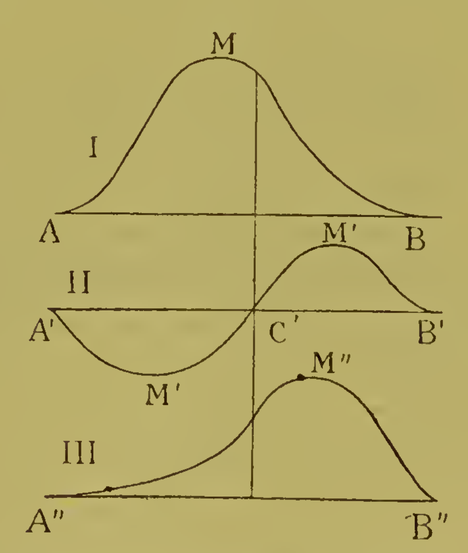


Fig. 177. — I courbe du courant induit de premier ordre. II courbes correspondant aux deux courants induits de deuxième ordre. III courbe du courant résultant.

Il se produit quelque chose d'analogue quand on utilise

l'extra-courant de la bobine à chariot munie de son noyau de fer doux.

L'énergie du courant faradique diminue à mesure qu'on enfonce la bobine mobile sur la bobine fixe.

Le noyau de fer doux, en s'aimantant et en se désaimantant successivement, donne naissance à des courants induits de 1er ordre dans la bobine inductrice et dans la bobine induite. Le courant induit de 1er ordre dans la bobine induite réagit sur la bobine inductrice en produisant dans celle-ci deux courants induits de 2e ordre.

On obtient comme dans le cas précédent un courant induit résultant correspondant à une même quantité d'électricité mais à une force électromotrice moyenne plus faible.

C'est également pour éviter les courants induits de 2e ordre que le noyau de fer n'est pas plein. Il est formé par un faisceau de fils de fer séparés bientôt les uns des autres par la couche d'oxyde qui les recouvre.

Le courant inducteur développe dans un noyau plein un courant induit de 1er ordre qui donne naissance dans la bobine induite à deux courants de 2e ordre. Il en résulte comme nous l'avons expliqué plus haut un affaiblissement marqué de la force électromotrice moyenne.

L'expérience montre que ces courants induits de 2e ordre sont réduits au minimum quand le noyau plein est remplacé par des fils fins bien isolés.

CHAPITRE II.

APPAREILS D'INDUCTION UTILISÉS EN MÉDECINE.

Il nous reste, après l'exposition des principes fondamentaux, à décrire les appareils d'induction utilisés en médecine.

On les divise en appareils (volta faradiques) et en appareils (magnéto-faradiques).

Dans les premiers, les courants induits sont obtenus en fermant et en interrompant successivement un courant inducteur, fourni par une pile hydro ou thermo-électrique.

Dans les seconds, les courants induits résultent d'un déplacement relatif entre une bobine induite et un aimant inducteur.

279. — Appareils volta-faradiques. — On peut distinguer les appareils de cabinet ou de laboratoire, et les appareils transportables.

Nous prendrons, comme type des premiers, la bobine à chariot de Dubois Reymond ; comme type des seconds, la petite bobine de Gaiffe.

Une bobine d'induction médicale comprend comme pièces essentielles : 1° Une bobine inductrice; 2° une bobine induite ; 3° un interrupteur. Les pièces accessoires sont le noyau de fer doux et le graduateur.

Le courant inducteur est fourni par une pile hydro ou thermo-électrique.

280. — Bobine a chariot. — Cette bobine comprend : 1° Une bobine inductrice B à fil gros et court. (fig. 178 et 179). La force électromotrice du courant induit étant pro-

portionnelle à l'intensité du courant inducteur, il importe de le faire passer dans un circuit de faible résistance.

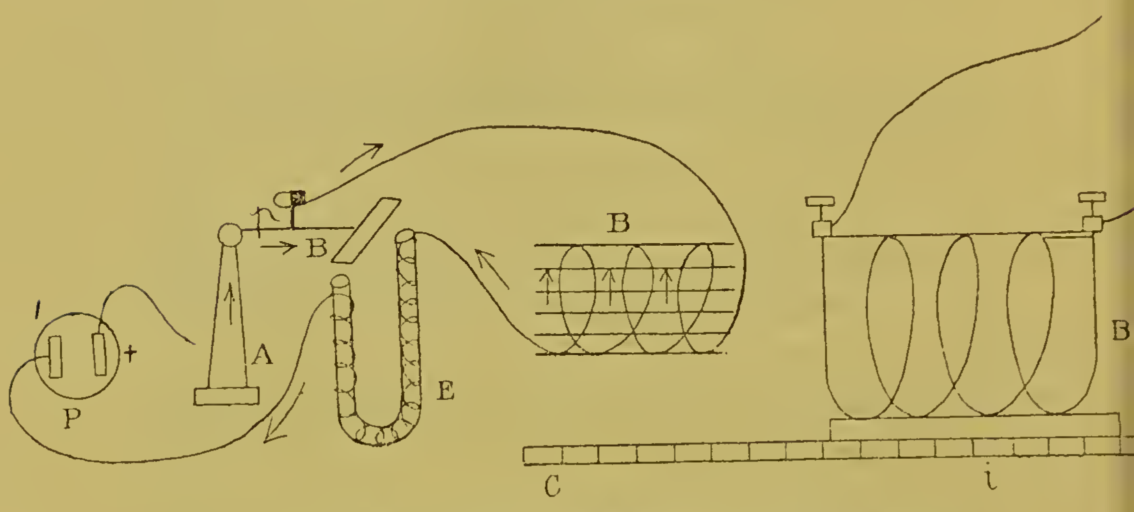


Fig. 178. — Schéma de la bobine médicale à chariot.

2° Une bobine induite B′ formée par un fil plus long que celui de la bobine inductrice.

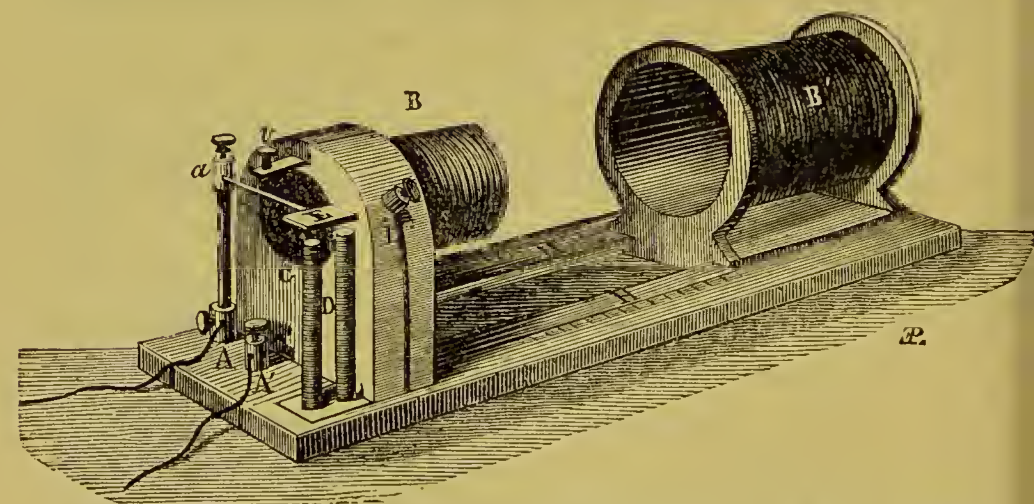


Fig. 179. — Bobine à chariot. — B bobine inductrice. B′ bobine induite. D électro-aimant. *a* E armature. *v* vis qu'on peut déplacer de façon à faire varier l'excursion de l'armature.

Son diamètre et sa longueur varient suivant les applications que l'on a en vue. L'expérience indique que, si on veut s'adresser à la contractilité musculaire, il faut employer une bobine à fil gros. C'est au contraire une bobine à fil fin qu'il faut employer si on veut agir sur la sensibilité. Aussi

la plupart des appareils médicaux sont munis au moins de 2 bobines induites, l'une à fil gros et court, l'autre à fil fin et long (fig. 180).

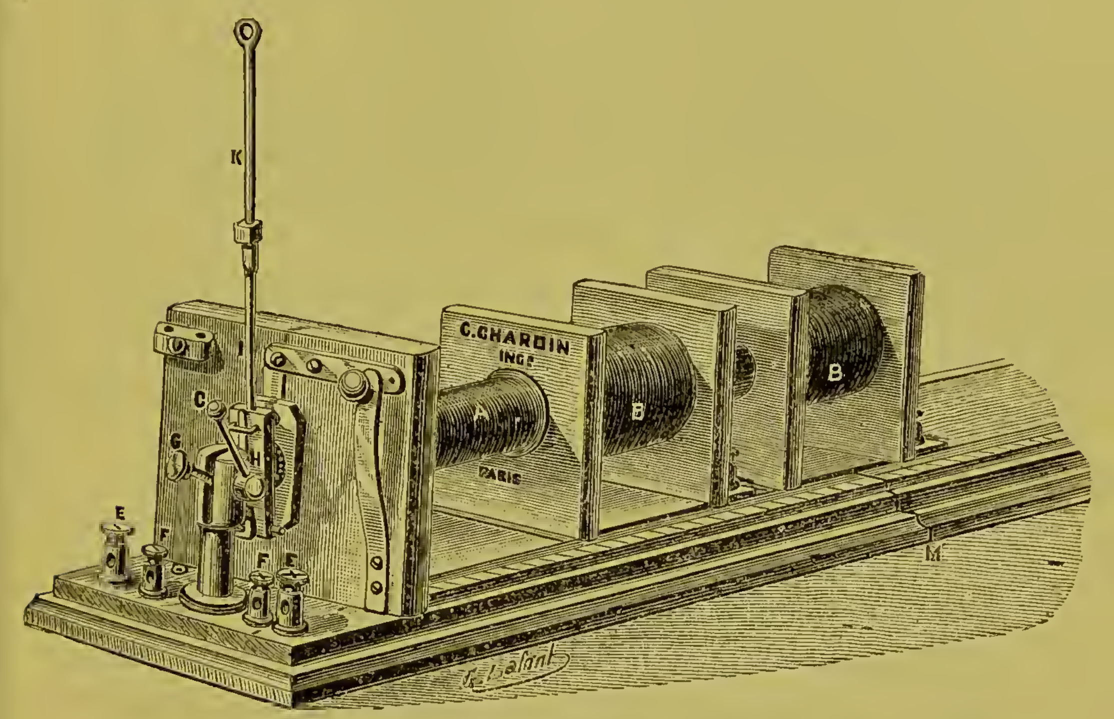


Fig. 180. — Bobine à chariot avec plusieurs bobines induites de Chardin.

En employant des bobines de résistances différentes, on fait varier la force électromotrice du courant induit, cette force électromotrice étant proportionnelle au carré de la résistance du fil induit.

La bobine inductrice B est fixe. La bobine induite est mobile. Elle est portée par un chariot qui se déplace dans une rainure dont un des bords est formé par une règle CD fig. 178 divisée en millimètres. Un index qui fait partie du chariot correspond pour chaque position de la bobine à une division déterminée de la règle. Le diamètre intérieur de la bobine induite est tel qu'elle peut recouvrir complètement la bobine inductrice. Le chariot est alors à fond de course, et l'index est au zéro de la règle divisée.

3° L'interrupteur. — Il est constitué (fig. 178) par un électro-aimant E dont l'axe est vertical. L'armature est un morceau de fer doux qui est supportée par une lame élas-

tique soutenue par un montant vertical A. La lame élastique est dans sa position d'équilibre en contact avec une pointe *h* qui termine une vis qu'on peut faire mouvoir dans son écrou F au moyen d'une tête V.

281. — Source d'électricité. — La pile que l'on emploie généralement est une pile au bichromate. Elle présente cet inconvénient qu'elle se polarise facilement. On pourrait employer toute autre pile hydro-électrique. On peut également utiliser une pile thermo-électrique (pile de Clamond, pile de Noë) ou un accumulateur.

Le schéma (fig. 178). fait suffisamment comprendre comment fonctionne l'appareil.

La pile est, comme on le voit, en communication avec un des bouts de fil de l'électro-aimant. Celui-ci est relié à une des extrémités du fil de la bobine inductrice. L'autre extrémité est en communication avec la vis mobile, et enfin le montant qui soutient la lame élastique reliée à l'armature de l'électro-aimant communique avec le second pôle de la pile.

La pointe *p* étant en contact avec la lame élastique, le circuit est fermé, le noyau de l'électro-aimant s'aimante et attire l'armature. Le contact avec la pointe *p* étant supprimé, le courant est interrompu. L'armature n'est plus attirée. La lame, en vertu de son élasticité, revient toucher la pointe *p*.

Le courant passe de nouveau et ainsi de suite.

Les courants ainsi interrompus et rétablis dans la bobine inductrice produisent dans la bobine induite des courants faradiques de fermeture et de rupture qui peuvent être recueillis et utilisés.

282. — Variation du courant induit avec la distance des 2 bobines. — La loi de variation de l'intensité du courant induit avec la distance qui sépare les 2 bobines n'est pas simple.

Tout ce que l'on peut dire, c'est que, si on diminue ou si on augmente la distance des 2 bobines dans un certain rapport, on augmente ou on diminue les intensités dans un rapport beaucoup plus grand, c'est du reste ce qui ressort du tableau suivant dressé par Watteville[1].

Distance des bobines en centimètres		50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0
Intensité du courant évaluée par l'angle de déviation de l'aiguille.	1re Expérience	3°,5	5	7°,5	11°,5	19°,5	33	51	71	95	110	122
	2e Expérience	11	12.5	15	18	22,5	28.5	36	52	65	92	135

L'induction, on le comprend, sera d'autant plus forte que la bobine induite sera plus rapprochée de la bobine inductrice.

La force électro-motrice du courant induit, toutes choses étant égales d'ailleurs, atteint son maximum quand la bobine induite recouvre complètement la bobine inductrice.

283. — Noyau de fer doux. — Un noyau formé avec des fils de fer fins placé au centre de la bobine inductrice renforce considérablement les courants faradiques. Ce noyau s'aimante quand le courant inducteur est fermé. Il se désaimante quand le circuit inducteur est ouvert. Ces variations dans l'aimantation du noyau sont accompagnées de la production de courants faradiques dans la bobine induite qui sont de même sens que ceux produits simultanément par les variations d'intensité du courant dans la bobine inductrice. Les courants faradiques résultants sont incomparablement plus forts que ceux qu'on obtient si on enlève le noyau.

[1] Watteville ; *Abrégé d'Électrothérapie.*

284. — Réglage de l'interrupteur. — L'expérience montre que des interruptions fréquentes produisent sur les nerfs sensibles une action physiologique beaucoup plus intense que les interruptions rares.

D'une façon générale, si on veut produire une action révulsive, les interruptions sont fréquentes. Il faut au contraire les espacer si on veut agir sur la contractilité musculaire.

On fait varier le nombre des interruptions en rapprochant plus ou moins l'armature de l'électro-aimant et pour cela on enfonce plus ou moins dans un écrou la vis dont la pointe presse la lame élastique. Plus le chemin à parcourir par la lame est grand, plus les interruptions sont rares. Elles sont au contraire plus fréquentes quand l'armature est dans sa position d'équilibre voisine de l'électro aimant, l'amplitude des oscillations de la lame élastique étant alors beaucoup plus faible.

Il est souvent nécessaire d'obtenir soit un seul courant de rupture, soit des courants très espacés, de rupture, ou de fermeture.

Pour cela on enfonce à l'aide de la vis, l'armature jusqu'à ce qu'elle soit en contact avec l'électro-aimant. Tout déplacement est alors impossible. Sur le trajet du circuit inducteur est intercalé un interrupteur ordinaire, une clef de Morse par exemple, avec laquelle on peut ouvrir et fermer le courant. Si l'on veut que les tissus reçoivent exclusivement un courant de fermeture ou un courant de rupture on fait aboutir les deux bouts du fil de la bobine induite à 2 masses métalliques A et B (fig. 181) séparées l'une de l'autre par un intervalle C qui peut être comblé par une cheville métallique. C'est également à ces pièces qu'aboutissent les rhéophores terminés par les excitateurs qui reposent sur la peau. Quand la cheville est en place le courant induit se partage entre la masse métallique AB sans résistance appréciable et le circuit qui comprend l'organe à exciter de résistance très grande. Conformément au prin-

cipe des courants dérivés, le courant faradique qui traversera le corps sera négligeable.

On peut donc en plaçant la cheville au moment de la fermeture ne laisser passer que les courants de rupture ou inversement.

On peut aussi, sans avoir recours à un interrupteur accessoire, déplacer le levier de l'interrupteur à la main.

Le courant est fermé ou interrompu suivant qu'on l'amène en contact avec la pointe de l'interrupteur ou qu'on l'en éloigne.

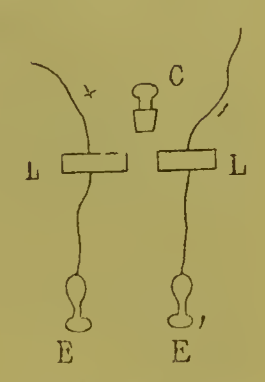


Fig. 181. — Disposition pour que les tissus soient traversés exclusivement par un des courants de fermeture ou de rupture.

285. — Utilisations des extra-courants. — Les bobines médicales sont ordinairement munies de bornes aboutissant aux extrémités de la bobine inductrice. On peut recueillir à ces bornes les extra-courants, soit de fermeture, soit de rupture.

On désigne souvent les extra-courants, sous le nom de courants de la bobine primaire, les courants de la bobine induite s'appelant courants de la bobine secondaire.

Les extra-courants jouissent des propriétés des courants obtenus avec des bobines induites à fil gros et court et peuvent être utilisés pour obtenir des contractions musculaires.

286.—Méthodes qui servent a faire varier l'intensité des courants induits.— Le médecin peut faire varier l'intensité des courants induits et, par suite, leurs effets, soit physiologiques, soit thérapeutiques de plusieurs façons : 1° en faisant varier l'intensité des courants inducteurs; 2° en utilisant des bobines à fil gros ou des bobines à fil fin; 3° en enfonçant plus ou moins la bobine induite sur la bobine inductrice; 4° en faisant varier le nombre des interruptions pendant le même temps; 5° en intercalant sur le

circuit induit divers rhéostats; 6° en introduisant le noyau de fer doux dans la bobine inductrice et en l'éloignant.

287.— Pôles de la bobine. — Les deux bouts du fil de la bobine induite sont attachés à deux bornes métalliques qu'on appelle les pôles de la bobine. Lorsqu'on considère les deux courants induits de fermeture et de rupture, chacune des bornes est alternativement pôle positif et pôle négatif, mais dans la plupart des applications médicales et physiologiques le courant induit de fermeture est négligeable.

En considérant exclusivement le courant de rupture on peut attribuer deux pôles à la bobine, un pôle positif et un pôle négatif.

Le pôle positif ou l'anode, c'est l'extrémité du fil de la bobine induite d'où part le courant de rupture traversant un conducteur interpolaire. Le pôle négatif ou la cathode est l'autre extrémité du fil.

Pratiquement, on distinguera les deux pôles en appliquant les deux index sur les deux bornes de la bobine induite. Le pôle qui provoque la sensation la plus douloureuse est le pôle négatif, la cathode.

288.—Modifications de l'interrupteur.—Les bobines à chariot sont toujours formées des mêmes parties essentielles. Mais l'interrupteur peut recevoir un grand nombre de modifications.

Les interruptions et les fermetures du courant peuvent être produites par un pendule métallique (fig. 182) qui règle un mouvement d'horlogerie et qui touche périodiquement un bain de mercure.

Le schéma ci-contre fait suffisamment comprendre comment le courant peut être fermé et interrompu dans la bobine inductrice.

Un électro-diapason constitue encore un bon interrupteur.

Gaiffe a imaginé un certain nombre d'interrupteurs qui permettent de faire varier très commodément et très régulièrement le nombre des interruptions pendant un temps déterminé.

L'un de ceux qui donnent les meilleurs résultats consiste en une lame V (fig. 183) mobile autour d'un axe horizontal CC′ soutenu par deux montants verticaux. Dans

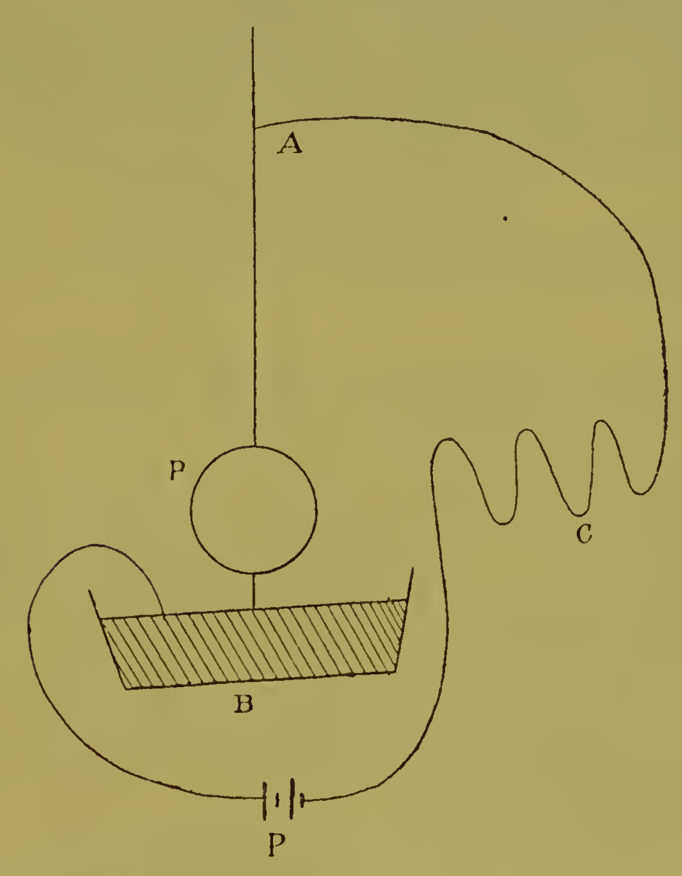


Fig. 182. — Interrupteur. Le courant fourni par la pile P est interrompu et rétabli par le déplacement du pendule, dont l'extrémité en platine frôle à intervalles réguliers la surface du bain de mercure contenu en D.

la position de repos la lame V, en vertu de son poids, repose sur une des branches du levier LCI qu'on peut faire tourner autour de l'axe horizontal C.

Le courant arrive à la borne B, va à l'interrupteur V par le levier LCI, puis par les montants O il passe dans la bobine inductrice H, d'où il retourne à la pile par la borne B′. Le noyau de la bobine F s'aimante quand le courant

passe et attire la partie voisine de l'interrupteur. Le courant est alors interrompu. La portion antérieure de la lame

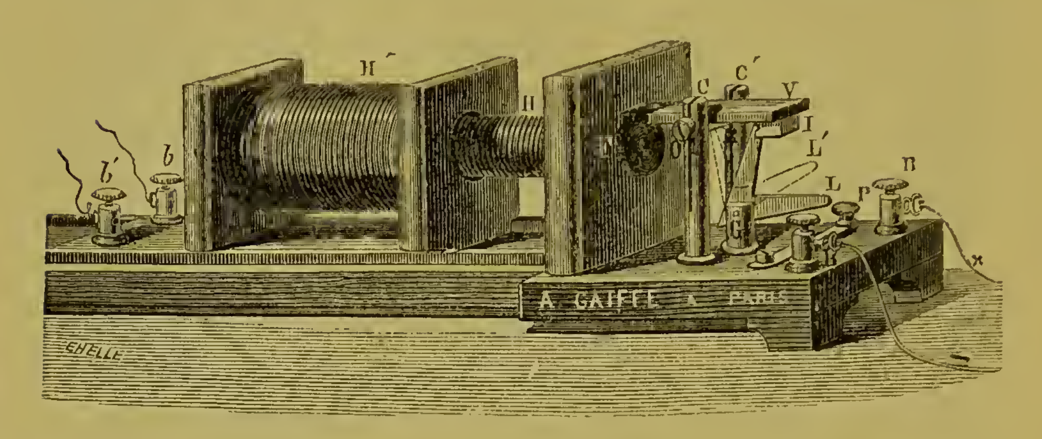


Fig. 183. — Bobine de Gaiffe. — H bobine inductrice. H′ bobine induite. *b b′* pôles de la bobine. P interrupteur qu'on manœuvre à la main quand on a immobilisé l'interrupteur LGIV.

plus lourde que la postérieure revient en contact avec le levier; le courant passe de nouveau, et ainsi de suite.

En faisant varier la position du levier de L C en L′ C, on fait varier l'excursion de l'interrupteur et on obtient de deux à cinquante intermittences par seconde. Dans cette disposition le noyau en fer doux est nécessairement fixe.

Helmholtz a modifié l'interrupteur de la bobine à chariot, de façon à substituer aux courants d'ouverture et de fermeture des courants induits obtenus par variation d'intensité du courant inducteur.

Les courants induits sont, dans ces conditions, moins intenses, mais leurs intensités sont sensiblement égales.

La pointe *b* (fig. 184) qui dans l'interrupteur ordinaire touche le levier en est constamment éloignée, et au-dessous de la pointe *b* est une autre pointe *e* qui fait partie d'un pilier métallique E et dont la position est réglée pour que la lame élastique vienne en contact avec elle quand l'armature est attirée par l'électro-aimant.

Le courant inducteur, comme le montre la figure schématique, fourni par la pile A, va directement à la pointe *b*, de là dans la bobine inductrice, revient à l'électro-aimant,

passe dans le pilier E et retourne à la pile. L'électro, s'aimantant par le passage du courant, attire son armature *c*, et le

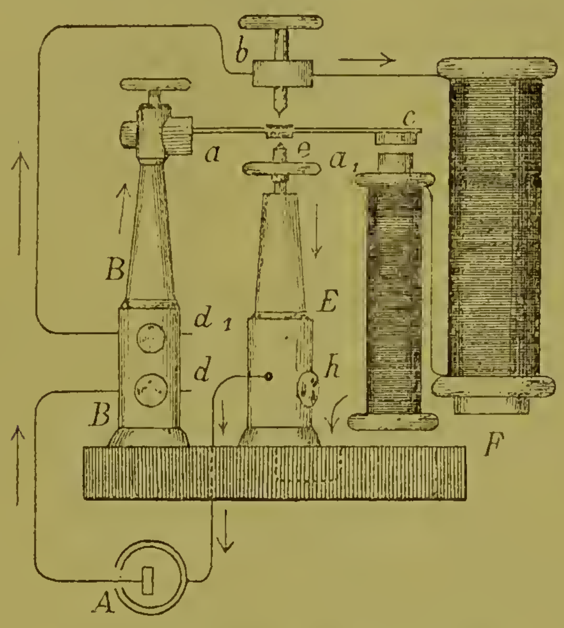


Fig. 184. — Interrupteur de Helhmoltz.

contact s'établit entre la lame élastique et la pointe *e*. Mais alors la série des conducteurs *d* B *a c* E représente une dérivation de faible résistance.

La série des conducteurs *d b* F *h* constitue une autre dérivation. Conformément au principe des courants dérivés, le courant qui traverse les bobines de l'inducteur et de l'électro-aimant, ayant une intensité proportionnelle à la résistance de la première dérivation, est très faible ; l'aimantation de l'électro devient insuffisante pour attirer l'armature, la lame élastique se relève et les phénomènes précédents se produisent de nouveau.

Ainsi le courant n'est jamais interrompu dans la bobine inductrice ; il subit seulement des variations d'intensité qui donnent naissance aux courants induits.

L'expérience montre que dans ces conditions les courants induits de sens contraire ont sensiblement la même intensité.

Mais cette intensité est plus faible que celle des courants qu'on obtient avec l'interrupteur ordinaire.

L'intensité du courant induit dépend, en effet, de l'amplitude de la variation d'intensité du courant inducteur.

Or, avec l'inducteur ordinaire, l'intensité du courant inducteur varie de 0 à une valeur déterminée.

Avec l'interrupteur d'Helmholtz, la limite supérieure de l'intensité du courant inducteur ne change pas, mais la limite inférieure est positive au lieu d'être nulle.

289. — Graduation des bobines d'induction. — Les bobines à chariot portent, nous l'avons dit, une règle divisée en centimètres ou en millimètres, qui permet de déterminer la position de la bobine mobile par rapport à la bobine fixe. Mais cette graduation n'indique absolument rien sur la quantité, l'intensité, la force électromotrice, l'énergie du courant induit pour la position actuelle de la bobine mobile. La loi qui lie la distance des bobines à ces diverses grandeurs est, comme nous l'avons dit déjà à propos de l'intensité, très complexe.

L'intensité du courant induit dépendant de l'intensité du courant inducteur, si dans une série d'expériences on veut avoir des résultats comparables, il faut maintenir constante l'intensité du courant inducteur en prenant une source constante d'électricité, une pile Daniell ou un accumulateur.

Pour un même courant inducteur et une même bobine induite, le courant induit dépend de la position relative des deux bobines. M. d'Arsonval[1] a, dès 1884, gradué sa bobine en coulombs en mesurant pour diverses positions de la bobine induite les quantités d'électricité du courant induit de rupture au moyen du galvanomètre balistique. La méthode est celle que nous avons indiquée (pag. 236).

La graduation se rapportant aux courants de rupture qui ont tous la même durée donne également le rapport des intensités et des forces électromotrices. Le rapport des

[1] D'Arsonval : *Archives de Physiologie*, 1889.

énergies s'obtient en élevant au carré les nombres de la graduation en coulombs.

Car l'énergie $e\,i$ ou $r\,i^2$, puisque $e = ri$, est aussi égale à $r\,\frac{q^2}{\theta^2}$; i étant égal à $\frac{q}{\theta}$; r et θ étant constants, on voit que les énergies sont proportionnelles à q^2.

La détermination de l'énergie du courant induit pour une position de la bobine induite peut aussi se déterminer en faisant passer les courants alternatifs dans l'électro-dynamomètre (pag. 240). Le courant change simultanément de direction dans les deux bobines. La bobine mobile prend une position d'équilibre comme si l'appareil était traversé par un courant continu.

Dans les nouvelles bobines de Gaiffe, aux diverses divisions correspondent des nombres qui représentent les énergies relatives des courants pour les diverses positions de la bobine mobile.

290. — Pont différentiel du Dr Boudet. — Le Dr Boudet a proposé, pour obtenir avec une bobine des effets comparables, d'employer ce qu'il appelle le pont différentiel.

L'intensité moyenne du courant faradique est, nous l'avons dit, proportionnelle à l'intensité du courant inducteur. Il suffit donc de faire varier cette intensité pour avoir des courants induits ayant entre eux des rapports déterminés. Dans le pont différentiel de Boudet la variation d'intensité du courant inducteur est obtenue de la façon suivante (fig. 185) :

Le courant de la pile est interrompu et rétabli par un électro-diapason. Il se divise en a et en b pour passer sur deux bobines inductrices B et B'. Les deux courants ainsi dérivés parcourent les deux bobines en sens contraire, et sur le trajet de l'une de ces dérivations est une boîte de résistances r.

Toutes les chevilles étant enfoncées, la résistance des

deux circuits dérivés est identique. Autour des deux bobines inductrices est enroulée une bobine induite C.

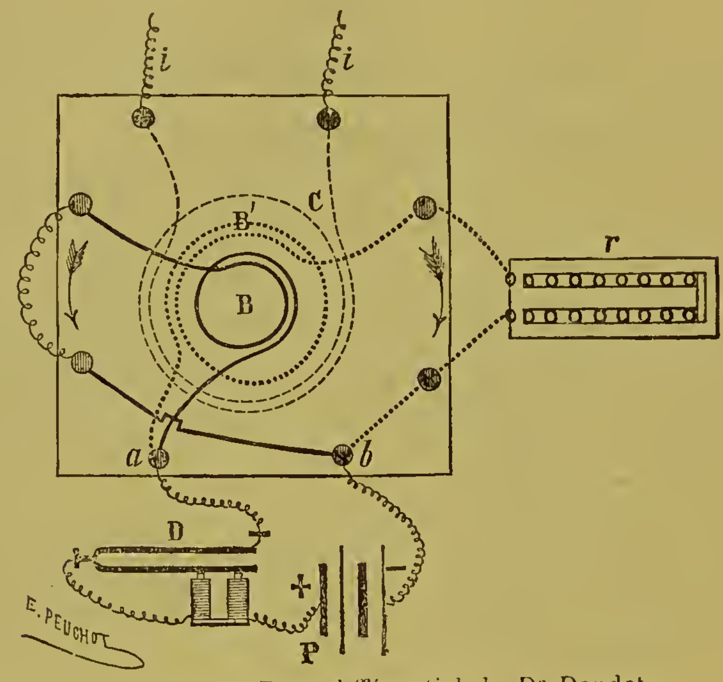


Fig. 185. — Pont différentiel du Dr Boudet.

Les courants induits dans cette bobine étant égaux et de sens contraire, l'intensité du courant induit résultant est nulle. Mais si on enlève successivement les chevilles qui correspondent aux résistances 1 ohm, 2 ohms, etc., les deux courants inducteurs de sens contraire ne sont plus égaux, et il y a production dans la bobine C de courants induits dont l'intensité est proportionnelle à la différence des intensités des courants inducteurs. En appliquant les formules connues, on trouve facilement les intensités des deux courants dérivés.

Ce mode de graduation est inférieur aux précédents. S'il rend en effet comparables les effets d'excitation produits par une même bobine, il ne permet pas de comparer les effets produits par deux bobines qui ne seraient pas rigoureusement identiques.

291.— Bobine normale.— Tous les résultats obtenus seraient évidemment comparables si les médecins avaient

entre les mains une même bobine, animée par un courant d'intensité constante. La graduation de la règle en millimètres serait alors suffisante. Ce qui importe, en effet, au praticien, ce n'est pas de connaître rigoureusement l'intensité, la force électromotrice, etc., du courant faradique. Mais il doit être certain qu'en plaçant sa bobine à telle division il obtiendra le même courant qui lui fournira une dose déterminée d'électricité faradique pouvant être utilisée thérapeutiquement. Le physiologiste doit également pouvoir indiquer avec exactitude les conditions dans lesquelles il a opéré. Ce n'est que de cette manière que ses expériences peuvent être vérifiées et reproduites.

Le Congrès des électriciens a dans sa séance du 28 septembre 1881 recommandé l'emploi d'une bobine normale, de forme analogue à celle de la bobine à chariot utilisée depuis de longues années dans le laboratoire du professeur Dubois-Reymond et animée par un élément Daniell.

Voici les dimensions de la bobine normale adoptée en Allemagne[1]:

	BOBINE PRIMAIRE	BOBINE SECONDAIRE
Longueur des bobines (en ne tenant compte que de la partie sur laquelle le fil est enroulé)	88^{mm}	65^{mm}
Diamètre des bobines	36^{mm}	68^{mm}
— du fil	1^{mm}	$0^{mm},25$
Nombre des tours	300	5000
Couches de fils	4	28
Résistance	environ 1,5 unité Siemens	environ 300 unités Siemens

Un appareil construit avec ces dimensions est facilement

[1] La bobine normale n'est construite qu'en Allemagne.
La bobine normale de Blänsdorff (de Francfort) coûte 75 fr.
— de Kruger (de Berlin), avec l'interrupteur à marteau et l'interrupteur d'Helmholtz, coûte 100 fr.

transportable et convient à toutes les applications scientifiques, diagnostiques et thérapeutiques (Lewandowski)[1].

Il est à désirer que les médecins et les physiologistes se rendent aux avis du Congrès de 1881 et adoptent d'une façon exclusive une bobine normale. Quant à présent, les constructeurs s'ingénient à construire des modèles qui ne ressemblent pas à ceux de leurs concurrents. Il en résulte que l'on ne sait jamais exactement dans quelles circonstances se placent les observateurs et que les faits qu'ils annoncent ne peuvent pas toujours être contrôlés.

292. — Bobine de poche de Gaiffe. — Dans la plupart des cas les praticiens n'utilisent même pas la bobine à chariot. Ils se contentent de petites bobines dites bobines de poche. Un des modèles les plus usités est celui de Gaiffe.

La bobine de Gaiffe comprend une bobine inductrice à fil gros et court M (fig. 186), une bobine induite M′ à fil fin,

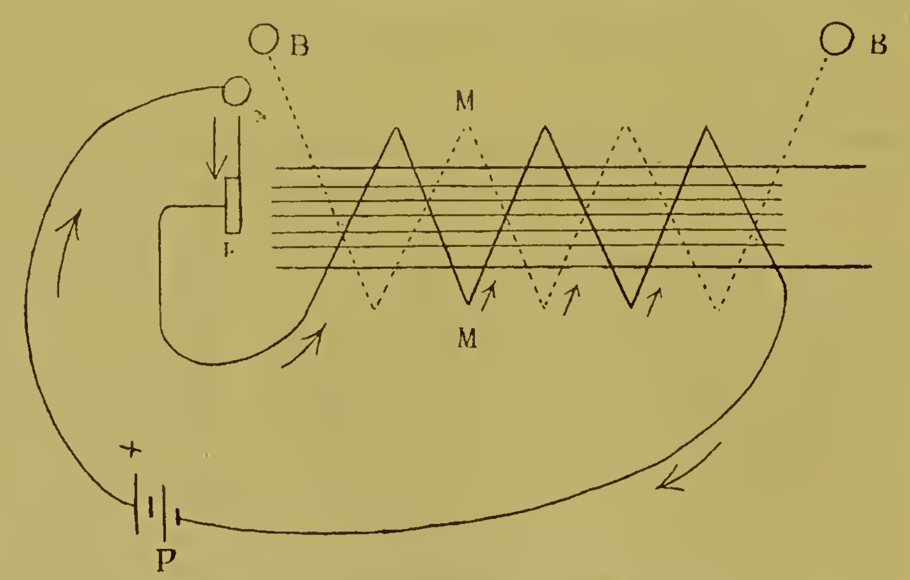


Fig. 186. — Schéma de la bobine de Gaiffe.

un noyau de fer doux, un interrupteur et un graduateur. L'interrupteur est une modification du trembleur à marteau de de la Rive. Il est constitué par une lame élastique

[1] Lewandowski; *Electrodiagnostik und Electrotherapie.*

fixée à une de ses extrémités et terminée par une armature L qui peut osciller entre une pointe fixe et le noyau en fer doux. Le courant d'une pile constituée par 2 éléments au sulfate de mercure arrive à la pointe en contact avec l'armature L.

De là il va à la bobine inductrice et revient à la pile. Le courant passant dans la bobine, le noyau s'aimante, attire l'armature. Le courant est interrompu.

La lame en vertu de son élasticité ramène l'armature contre la pointe. Le courant passe de nouveau, et ainsi de suite.

La bobine inductrice et la bobine mobile sont fixes. On fait varier les effets du courant induit :

1° En modifiant le nombre des interruptions pendant un temps déterminé. Une disposition spéciale de la bobine de Gaiffe (fig. 187) permet d'obtenir ce résultat ; 2° en

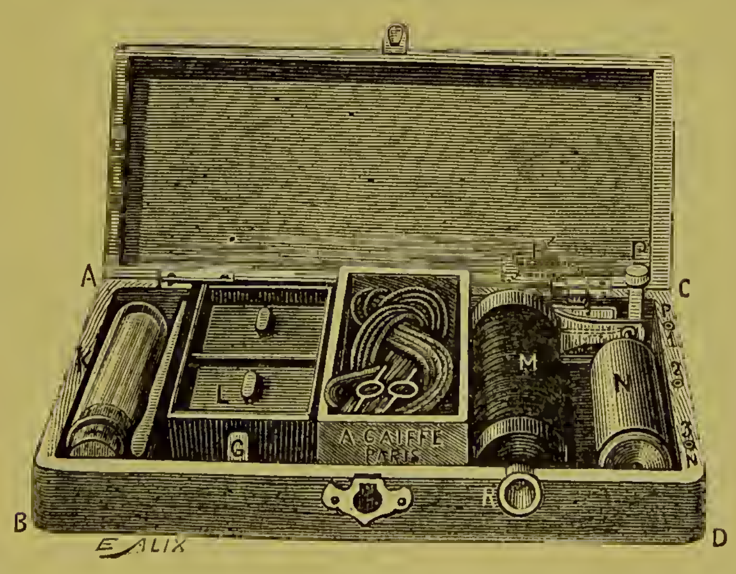


Fig. 187. — Bobine de poche de Gaiffe. L pile à sulfate de mercure. M bobine. R graduateur. P interrupteur dont on fait varier le nombre d'oscillations en le déplaçant de P en P'.

enfonçant ou en retirant le graduateur R. C'est un cylindre en laiton qui se déplace parallèlement à l'axe de l'appareil entre le noyau et la bobine inductrice ; 3° lorsqu'on veut provoquer des contractions musculaires on utilise l'extra-

courant qui a, nous l'avons dit, les propriétés du courant fourni par une bobine induite à fil gros et court.

La boîte qui renferme la bobine est divisée en compartiments dans lesquels sont contenus la pile, les rhéophores, les électrodes, etc.

C'est un appareil très commode, mais d'après certains praticiens son emploi ne serait pas toujours sans inconvénients.

«Les petits appareils d'induction dit le Dr Larat[1] doivent être maniés avec prudence. L'usage intempestif et pour ainsi dire banal de ces instruments a certainement fait grand tort à l'électrothérapie par les désagréments, contractures et autres, dont il a été cause».

293. — La bobine d'induction est un transformateur. — La bobine est un transformateur d'énergie. Dans la bobine inductrice le courant a une faible force électromotrice E et une grande intensité I. Son énergie est égale à EI pendant chaque seconde. Cette énergie se retrouve dans la bobine induite en partie mais transformée. La force électromotrice devient e, plus grande que E, tandis que l'intensité i est plus faible que I. L'énergie du courant induit est ei, sensiblement égale à EI. Les deux termes de ce produit changent d'ailleurs avec la bobine induite. La force électromotrice est grande, quand la bobine a une grande résistance. L'intensité et la quantité sont alors faibles.

La bobine induite est, comme on le dit souvent, une bobine de tension.

Dans les bobines à gros fil au contraire la force électromotrice est faible. L'intensité et par suite la quantité du courant sont grandes.

Ce sont, comme on le dit, des bobines de quantité.

294. — Appareils magnéto-faradiques. — Les appareils magnéto-faradiques employés en médecine sont

[1] Dr Larat ; *Précis d'Électrothérapie.*

presque tous des appareils de Clarke ou des modifications de cet appareil. Des bobines mobiles se déplacent dans le champ magnétique variable d'un aimant artificiel puissant. Il se produit dans ces bobines des courants induits dont le sens et l'intensité sont réglés par le principe de Faraday que nous avons énoncé plus haut.

295. — Machine de Clarke. — La machine de Clarke comprend (fig. 188) un aimant puissant B en fer à cheval

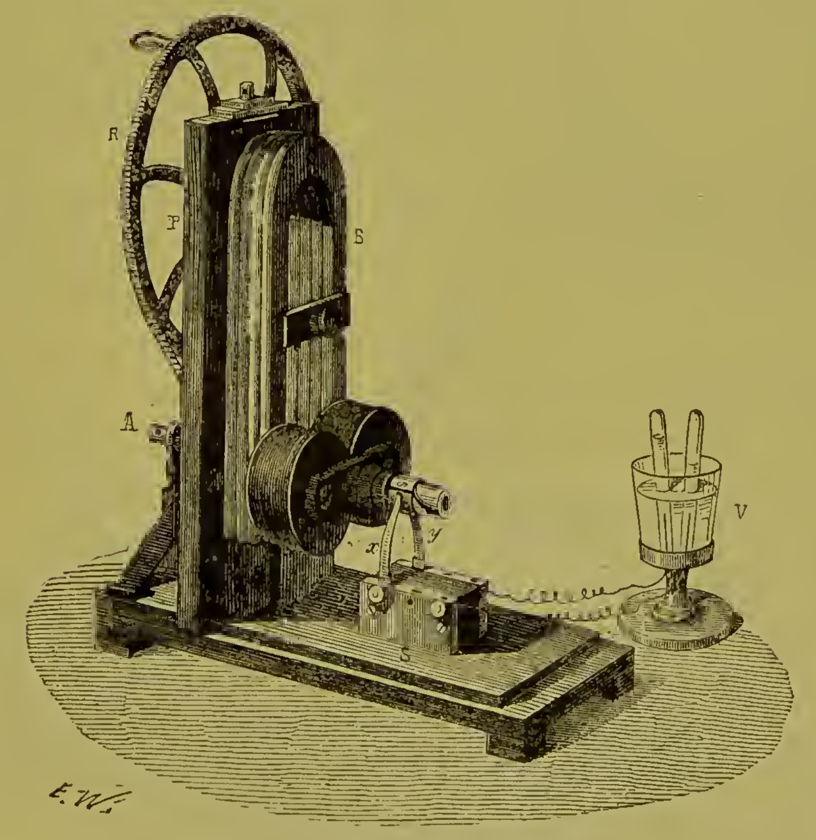


Fig. 188. — Machine de Clarke.

fixe et deux bobines qui se déplacent devant les pôles de l'aimant.

Un même fil est enroulé en sens contraire sur les deux bobines. Elles sont munies de noyaux en fer doux reliés par des traverses métalliques à un axe auquel on imprime un mouvement rapide de rotation.

Pour comprendre le mode de production des courants

il suffit de considérer une des bobines (fig. 189). Le fil étant enroulé en sens contraire sur les deux bobines, les courants induits développés dans chacune d'elles s'ajoutent.

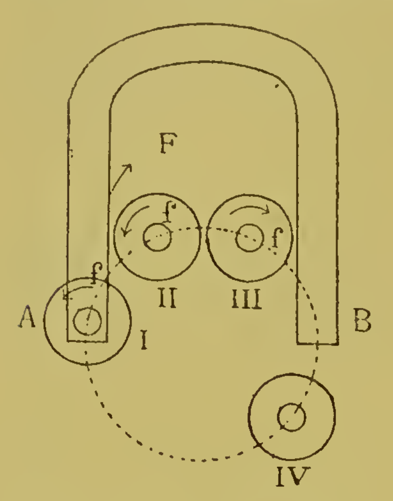


Fig. 189. — Schéma pour faire comprendre le développement des courants induits dans la machine de Clarke.

Dans la position I le pôle austral A de l'aimant dont l'action est prédominante développe dans la partie du noyau la plus rapprochée un pôle boréal et à l'autre extrémité un pôle austral.

Supposons que ce soit ce pôle austral que nous ayons devant nous. Conformément à la règle d'Ampère nous voyons les courants de l'aimant marcher dans le sens de la flèche *f*. Déplaçons la bobine dans le sens de la flèche F, elle vient prendre la position (2), l'aimantation du noyau diminue, il y a donc production dans la bobine d'un courant induit dans le sens de la flèche *f*. Il en est ainsi jusqu'à ce que la bobine soit arrivée à 90° de sa position primitive. Les actions des deux pôles A et B sont alors égales et de sens contraire. Cette position étant dépassée en III, l action du pôle boréal B sur le noyau est prédominante. Elle développe à l'extrémité du noyau la plus rapprochée un pôle austral et à l'extrémité la plus éloignée, celle que nous avons devant nous, un pôle boréal. Nous voyons alors les courants de l'aimant marcher dans le sens de la flèche *f'*. Mais, le noyau s'approchant du pôle boréal, son aimantation augmente, le courant induit est donc inverse et marche dans le sens de la flèche *f*. Il en est ainsi tant que la bobine n'a pas tourné de 180° c'est-à-dire n'est pas devant B. En poursuivant cette analyse on voit facilement que les courants induits développés pendant la seconde demi-révolution sont de sens contraire à ceux développés pendant la première. Les courants induits changent ainsi de sens à chaque demi-révolu-

tion. L'intensité du courant induit, étant proportionnelle à la quantité de magnétisme de l'aimant inducteur, c'est-à-dire du noyau, est constamment variable, et, comme dans la bobine d'induction, lorsqu'on parle de l'intensité du courant il s'agit de l'intensité moyenne.

On donne, au moyen d'un commutateur monté sur l'axe de rotation des bobines, une direction constante dans un circuit extérieur aux courants alternativement de sens contraire produits dans la machine.

Ce commutateur sert en même temps d'interrupteur, de sorte que les courants alternativement interrompus et rétablis produisent dans le corps humain placé dans le circuit tous les effets des extra-courants de fermeture et de rupture.

296. — Machine de Gaiffe. — Dans l'appareil construit par Gaiffe (fig. 190) on peut par un dispositif spécial

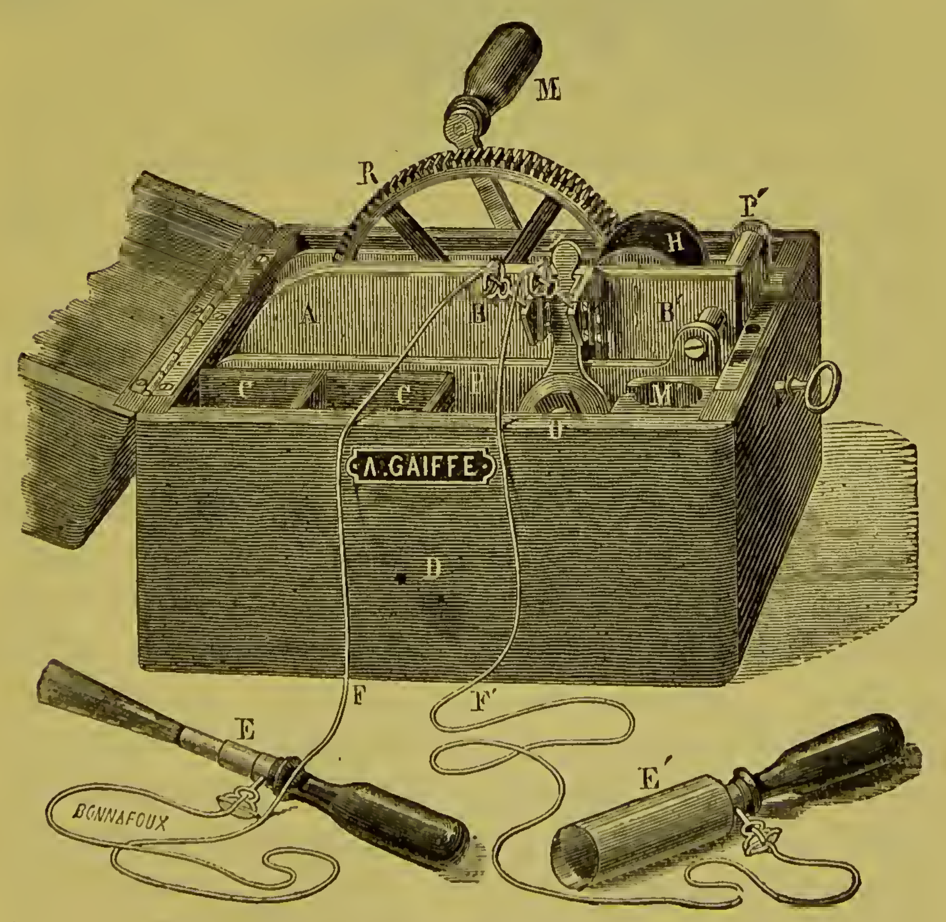


Fig. 190. — Machine de Clarke, modèle de Gaiffe.

rapprocher ou éloigner les noyaux de fer mobile des pôles de l'aimant, faire varier par conséquent les quantités de magnétisme développées par influence dans le fer doux et par suite l'intensité des courants induits.

Gaiffe a heureusement modifié la machine de Clarke (fig. 191). Il a pour cela entouré les pôles de l'aimant de

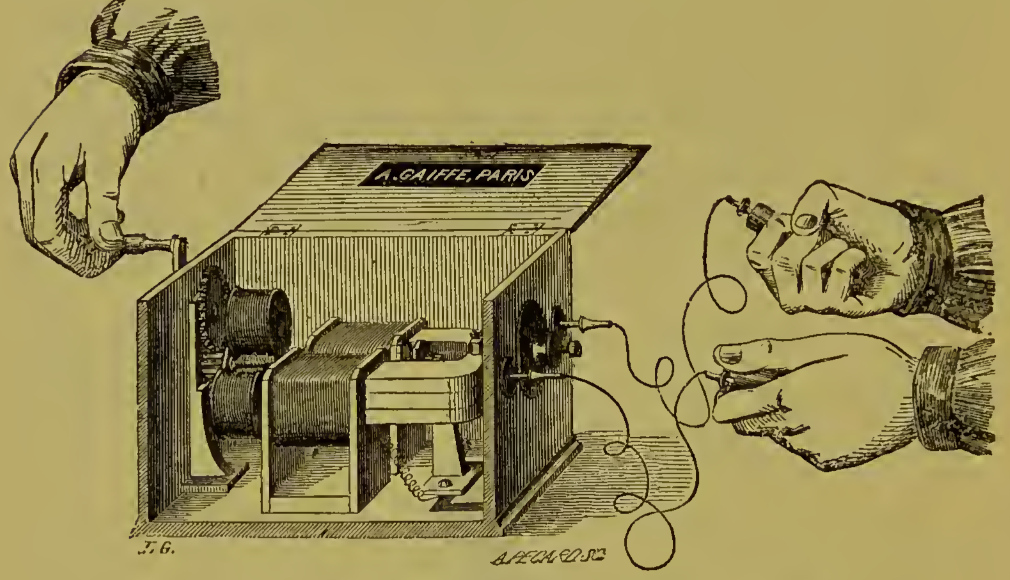


Fig. 191. — Machine de Clarke modifiée par Gaiffe.

deux bobines sur lesquelles le fil est enroulé en sens contraire.

On se rend facilement compte des courants induits dans ces bobines en considérant l'action qu'exercent sur elles les noyaux des bobines mobiles soumises à des aimantations variables. On peut ainsi s'assurer qu'à chaque quart de révolution le courant change de sens dans les bobines qui entourent les pôles. Au moyen d'un commutateur spécial qui sert aussi d'interrupteur, les quatre courants induits dans ces bobines et les deux courants induits dans les bobines mobiles, pendant un tour complet, sont lancés dans un circuit extérieur avec une direction constante et interrompus à intervalles très rapprochés. On peut ainsi obtenir les effets obtenus avec les extra-courants développés dans un circuit traversé par un courant de direction constante par fermetures et ruptures successives.

297. — Machine de M. d'Arsonval a courants sinusoïdaux. — Les appareils magnéto-électriques n'étaient plus employés que dans quelques rares cabinets d'électrothérapie.

Les praticiens leur préféraient les appareils volta-électriques moins lourds, plus commodes à manier, dans lesquels les courants induits sont obtenus par le jeu automatique d'un interrupteur.

Les machines magnéto-électriques sont toujours prêtes à fonctionner sans l'intervention d'une pile. Mais pour obtenir des courants il faut produire un déplacement relatif entre une bobine et un aimant. Si le mouvement s'exécute à la main, la vitesse, et par conséquent l'intensité du courant, ne reste pas constante. Si on a recours à un moteur, la machine devient encombrante et peu transportable.

M. le Dr d'Arsonval, dont le nom est depuis longtemps attaché à la plupart des progrès de la technique électro-physiologique, a fait ressortir dans une série d'articles qui ont paru successivement dans les *Archives de physiologie* depuis 1889 la valeur de la courbe qui exprime la relation entre l'intensité moyenne et le temps.

A telle forme correspond une action particulière sur la sensibilité. Pour telle autre le courant provoque surtout des contractions musculaires.

Enfin la forme est-elle celle de cette courbe si remarquable par sa régularité qu'il faut considérer à chaque instant quand on étudie les mouvements vibratoires et qu'on appelle la sinusoïde, le courant intervient comme agent trophique. Il agit surtout sur les phénomènes de nutrition.

C'est au moyen d'une machine magnéto-électrique de construction spéciale que M. d'Arsonval[1] a obtenu ces courants sinusoïdaux.

[1] D'Arsonval; *Archives de physiologie*, 1892.

Dans cette machine (fig. 192) construite par Gaiffe la bobine E est fixe.

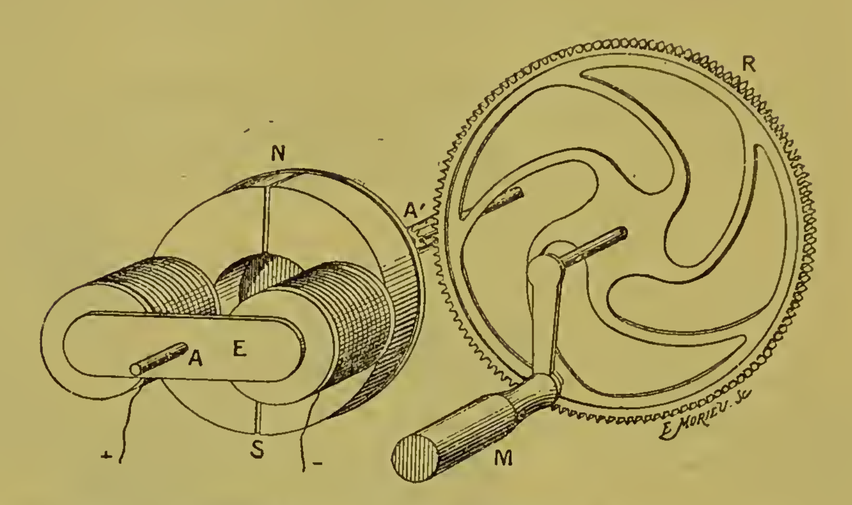


Fig. 192. — Machine à courants sinusoïdaux du Dr d'Arsonval.

C'est l'aimant H qui se déplace. Cette disposition est celle de la première machine magnéto-électrique, celle de Pixii.

Ce qui caractérise surtout cette nouvelle machine, c'est son aimant, qui au lieu d'être en fer à cheval est circulaire. Il est formé par plusieurs disques d'acier aimantés séparément à saturation et fixés les uns sur les autres. Les deux pôles sont aux deux extrémités d'un même diamètre. Il est monté sur un axe M′ mis en mouvement par l'intermédiaire d'un pignon et d'une roue dentée R.

Les noyaux de la bobine fixe ont le même écart que les pôles de l'aimant mobile.

L'aimant se déplaçant, il y a production dans la bobine de courants induits qui changent de sens à chaque 1/2 révolution, mais ces courants ne sont pas redressés par un commutateur. Ils sont envoyés directement au malade.

On fait varier la force électro-motrice et par suite l'intensité des courants induits soit en faisant varier la vitesse du mouvement de rotation, soit en approchant plus ou moins la bobine fixe de l'aimant.

A cause de la forme même de l'aimant, il n'y a pas comme dans la machine Clarke variation brusque du

champ magnétique par rapport aux bobines. Pendant une révolution complète le champ croît et décroît d'une façon régulière et continue, et ces variations sont représentées par les diverses ordonnées d'une courbe sinusoïdale.

L'intensité des courants induits, qui est proportionnelle à l'intensité du champ, peut aussi être représentée par les ordonnées d'une sinusoïde dont les abscisses représentent les temps.

298. — Détermination de la caractéristique d'une machine. — M. d'Arsonval a fait connaître récemment[1] la méthode qu'il emploie pour avoir la courbe qui donne les intensités aux divers moments de la révolution de la partie mobile d'une machine magnéto-électrique, courbe qu'il appelle la caractéristique de la machine.

Les courants sont lancés dans une bobine très légère *b* (fig. 193) qui se déplace dans le champ d'un électro-aimant à

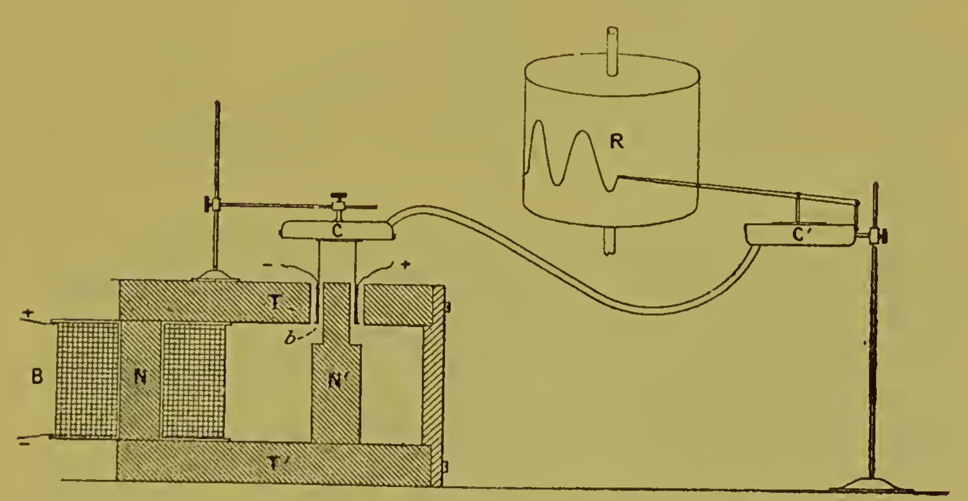


Fig. 193. — Appareil de M. d'Arsonval pour l'inscription de la caractéristique.

peu près comme l'aimant du galvanomètre de Kohlranch (pag. 204). Ces mouvements sont transmis à la membrane d'une capsule de Marey qui porte la bobine. Les variations de pression de l'air de C sont transmises par un tube de

[1] D'Arsonval ; *Archives de physiologie*, 1892.

caoutchouc à l'air du tambour C′ dont le levier inscrit la caractéristique sur un tambour enregistreur.

Le champ magnétique est créé par l'électro-aimant BNTN′ animé par un courant constant. La bobine *b* est très légère. Elle est formée par plusieurs couches de fil agglutinées entre elles comme dans le cadre mobile du galvanomètre d'Arsonval.

Le courant de la machine magnéto-électrique traversant *b* dans un sens, l'électro-aimant l'attire ; il la repousse si le courant marche en sens contraire. Ces attractions et ces répulsions dépendent, cela se comprend, de l'intensité du courant qui traverse *b*.

La bobine subissant des attractions et des répulsions variables aux divers moments de la révolution de la partie mobile de la machine, la loi de ces variations est exprimée par la courbe tracée par le style. Cette courbe exprime aussi la loi des variations proportionnelles des intensités du courant aux diverses phases de la révolution. C'est la caractéristique.

C'est ainsi qu'ont été tracées les courbes I, II, III (fig. 194).

Cette méthode ne peut être utilisée que si la machine fournit seulement 40 à 50 courants alternatifs par seconde.

Pour obtenir la caractéristique des appareils volta-électriques, M. d'Arsonval a recours à la méthode que Lissajous a si heureusement utilisée en acoustique.

Dans cette méthode, Lissajous employait, comme on le sait, deux diapasons oscillant dans des plans rectangulaires. Les rayons lumineux, réfléchis par un miroir fixé sur un premier diapason, sont réfléchis sur un second miroir que porte l'autre diapason. La lumière, après ces deux réflexions successives, trace sur un écran une courbe variable avec l'intervalle musical qui existe entre les notes des deux diapasons et qui peut servir à le caractériser.

La caractéristique d'un appareil volta-électrique s'obtient tout aussi facilement en fixant à la membrane de la bobine

mobile un miroir concave dont l'axe principal suivant les déplacements de la bobine se meut dans un plan vertical.

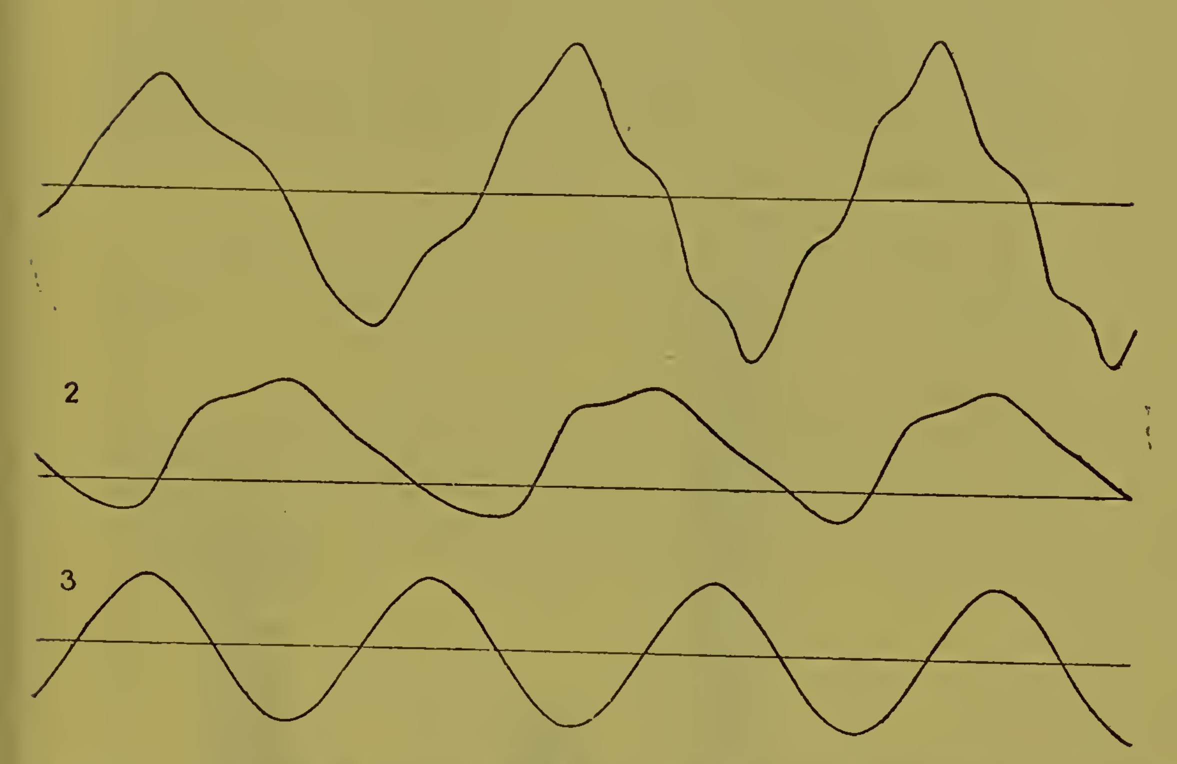


Fig. 194. — 1. Courbe des courants de la machine de Clarke non redressés avec le commutateur. — 2. Courbe des mêmes courants redressés. — 3. Courbe des courants de la machine de M. d'Arsonval.

Les rayons d'une source lumineuse sont réfléchis par un miroir qui appartient à un électro-diapason vibrant dans un plan horizontal. Ils subissent une seconde réflexion sur le miroir de la bobine et tracent la caractéristique sur un écran. On peut se contenter de l'observer directement. On peut aussi conserver le tracé par les méthodes photographiques.

Les animaux et l'homme soumis aux courants sinusoïdaux ne manifestent aucune contraction musculaire, n'accusent aucune sensation douloureuse.

L'activité des phénomènes nutritifs et respiratoires étant mesurée par les quantités de chaleur dégagées par le sujet en expérience, on constate qu'elle est bien supérieure à celle qui correspond à tout autre mode d'électrisation.

299. — Accessoires des appareils faradiques. — *A*. Rhéophores. — Le courant fourni par les appareils faradiques est pris à deux bornes ou pôles auxquels on fixe les rhéophores qui se terminent par les excitateurs. Comme pour les courants galvaniques, ce sont des conducteurs souples formés par l'association de plusieurs fils fins et recouverts d'une enveloppe isolante.

B. Excitateurs. — On emploie comme excitateurs les tampons ou les rouleaux qui servent pour les courants continus.

La surface d'application de quelques excitateurs est une plaque métallique nue. Quelquefois ils sont terminés par des olives métalliques (fig. 195). Le pinceau ou balai de Duchenne est fréquemment utilisé (fig. 196 et 197). C'est

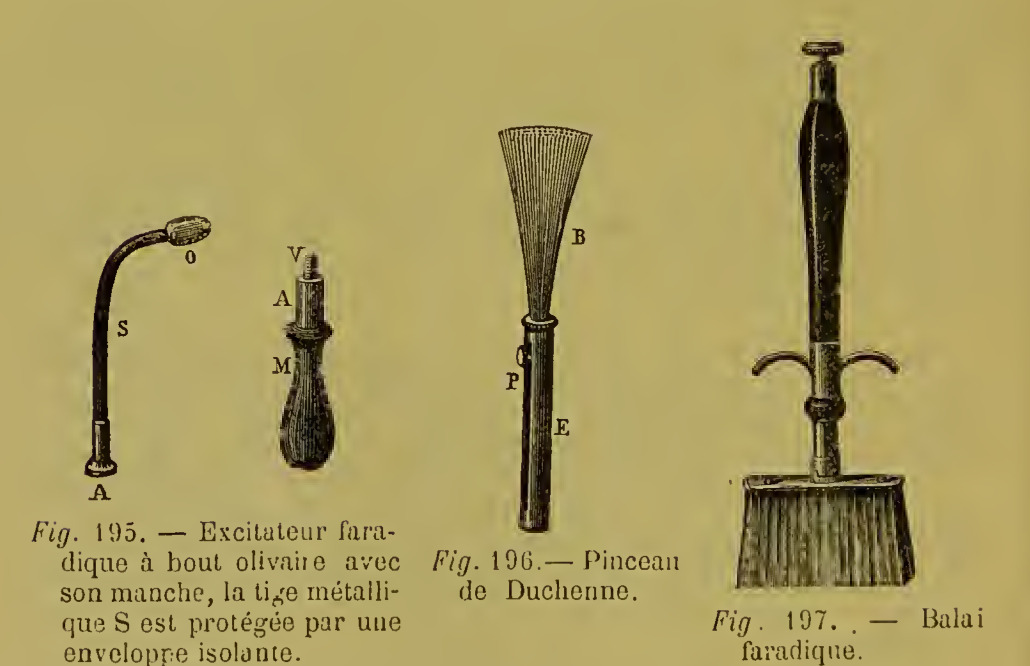


Fig. 195. — Excitateur faradique à bout olivaire avec son manche, la tige métallique S est protégée par une enveloppe isolante.

Fig. 196.— Pinceau de Duchenne.

Fig. 197. — Balai faradique.

simplement un faisceau de fils de laiton que l'on fixe au porte-électrodes. Dans certains cas on remplace le balai par une brosse faradique dont les fils métalliques sont reliés à un des pôles de la source électrique.

Citons aussi les excitateurs vaginaux et utérins d'Apostoli (fig. 198) constitués par deux lames de platine BC isolées

l'une de l'autre, portées par le même cylindre en ébonite et qu'on relie aux deux bornes de la bobine.

Pour les applications physiologiques, on porte l'action du courant sur les divers organes au moyen d'excitateurs en platine (fig. 199) isolés dans une gaîne en bois ou en substance isolante.

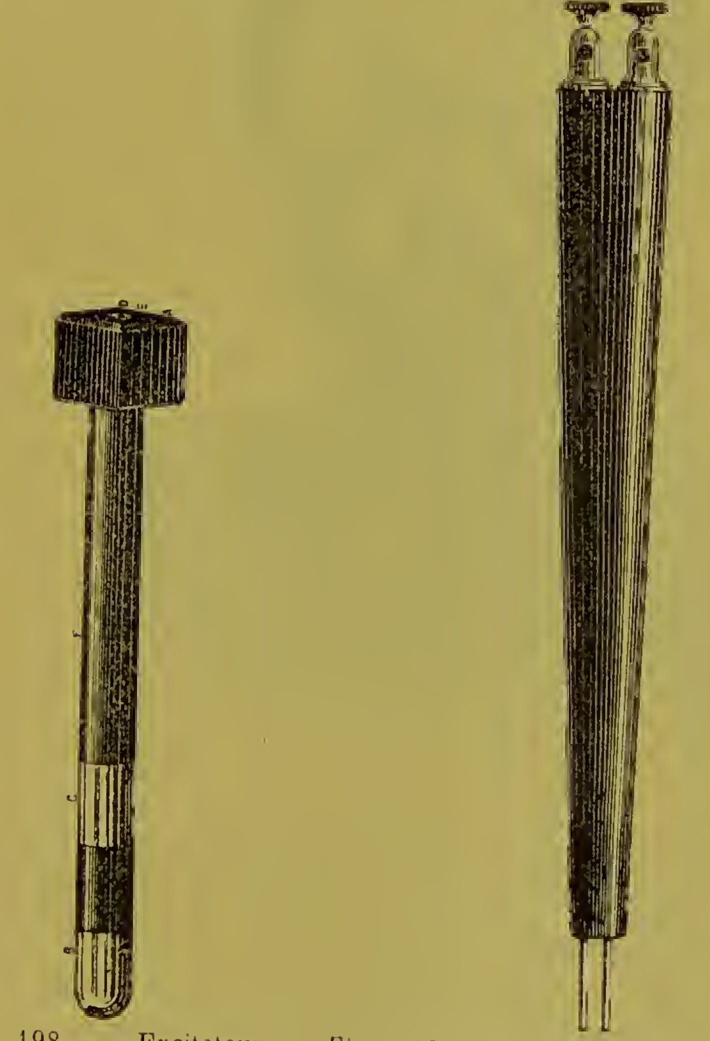


Fig. 198. — Excitateur bipolaire d'Apostoli.

Fig. 199. — Excitateur pour les applications physiologiques modèle de Verdin.

300. — Machine de Gramme. — La machine Gramme n'est pas encore utilisée d'une façon courante dans les applications thérapeutiques. Mais elle est d'un usage tellement répandu, ses applications sont tellement variées et elle peut rendre de tels services dans une installation médicale qu'il importe d'en connaître au moins le principe.

La machine Gramme de laboratoire (fig. 200) comprend une partie fixe et une partie mobile.

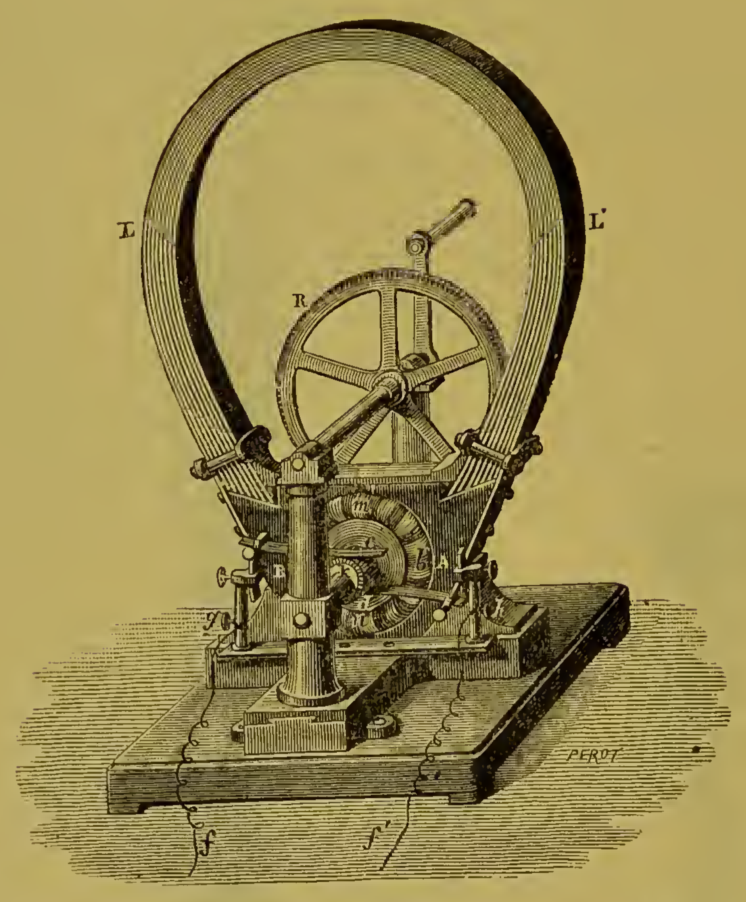


Fig 200. — Machine Gramme, modèle des laboratoires.

La partie fixe est un puissant aimant LL′ formé par plusieurs lames d'acier aimantées séparément à saturation et appliquées de champ les unes sur les autres. Elles sont encastrées à leurs extrémités dans des pièces polaires en fer doux A, B qui concentrent le champ magnétique sur la partie mobile.

La partie mobile comprend un anneau de fer doux ou mieux en fils de fer doux autour duquel est enroulé un fil conducteur *m*.

Si A et B sont les pôles austral et boréal de l'aimant fixe, ils développent sur les parties voisines de l'anneau de fer doux deux pôles de nom contraire *b* et *a*. Quand l'anneau

tourne, ses diverses parties prenant successivement la place de *a* et de *b*, chacune devient à son tour pôle austral et pôle boréal, mais ces pôles restent fixes dans l'espace. Comme nous l'avons dit déjà, le champ magnétique des deux aimants est concentré entre eux. Il n'y a presque pas de lignes de force à l'intérieur de l'anneau, et celles qui existent dans le champ sont parallèles et équidistantes. Le champ est uniforme. Nous avons dit qu'un fil circulaire tournant autour de l'anneau dans le sens de la flèche F (fig. 201) est traversé par un courant marchant dans le sens

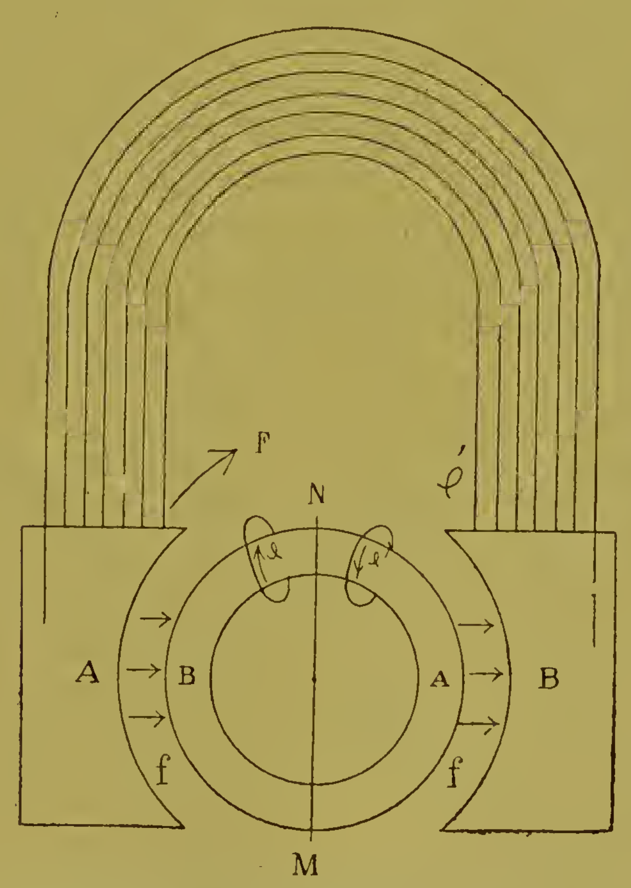


Fig. 201. — Schéma pour faire comprendre la production des courants induits dans la machine de Gramme.

de la flèche φ lorsque le déplacement a lieu de M en N en passant par B′; dans le sens de la flèche φ′, s'il va de M en N en passant par A′, M N étant le diamètre perpendiculaire à A′ B′ qu'on appelle ligne de commutation. Le sens du

courant n'est pas modifié par le déplacement simultané de l'anneau et du circuit métallique.

Imaginons maintenant qu'une spirale métallique (fig. 202) soit disposée autour de l'anneau. Nous pouvons la décomposer en deux parties séparées par la ligne de commutation c'est-à-dire en deux solénoïdes dont chaque spire peut être assimilée au fil circulaire dans une de ses positions. Dans le mouvement de rotation, toutes les spires du solénoïde situées à gauche de M N sont parcourues par des courants allant dans le sens de la flèche φ. Dans les spires à droite de MN le courant va dans le sens φ'.

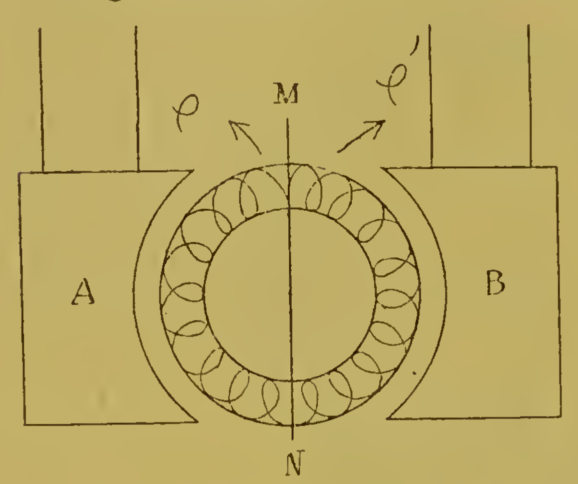


Fig. 202. — Schéma de la spirale se déplaçant dans le champ magnétique.

Les deux solénoïdes situés de part et d'autre de M N, qui sont parcourus par des courants de sens contraire, peuvent être comparés à deux piles montées en série ayant même force électromotrice et même résistance, qu'on réunirait par les pôles de même nom (fig. 203).

Fig. 203.— 2 piles de 4 éléments montées en série réunies par leurs pôles de même nom en M et N.

A cause de la relation $I = \frac{E - E'}{R + R'}$, E étant égal à E', le courant qui traverse MPNO a une intensité nulle. Mais si on réunit deux points M et N par un fil de dérivation,

M et N correspondant aux deux pôles, le fil est traversé par un courant allant de M en N.

Il en est de même dans la machine Gramme. Si on réunit par un conducteur les extrémités M et N de la ligne de commutation, il est traversé par un courant de direction invariable.

On a donc une machine magnéto-électrique qui donne sans commutateur un courant de direction constante.

En pratique la spirale qui entoure l'anneau est divisée en plusieurs spires qui sont réunies les unes aux autres par le collecteur de Gramme.

301. — Collecteur de Gramme. — C'est un cylindre de substance isolante K (fig. 200) monté sur l'axe de rotation qui porte des bandes métalliques équidistantes dirigées suivant les génératrices du cylindre. Chaque lame est reliée aux deux bouts de deux spirales voisines.

Toutes les spires communiquent ainsi les unes avec les autres et leur ensemble est tout à fait assimilable à la spirale unique que nous avons considérée (fig. 202). La prise du courant sur la ligne de commutation se fait au moyen de balais en fil de laiton *a* et *c* (fig. 200) qui frottent contre les lames en relation avec les bouts des spires qui sont sur cette ligne. Les balais, à cause de leur élasticité, touchent plusieurs lames du collecteur de sorte qu'il n'y a jamais interruption dans le courant. Ils sont reliés par des tiges conductrices à deux bornes *g* et *h* où l'on fixe les rhéophores.

302. — Réversibilité de la machine de Gramme. — La machine de Gramme est réversible (fig. 204). En imprimant un mouvement de rotation à l'anneau c'est-à-dire en fournissant à la machine de l'énergie mécanique, elle donne de l'énergie électrique. Réciproquement en lui donnant de l'énergie électrique, elle restitue de l'énergie mécanique. C'est ce qu'on réalise en mettant les bornes en communication avec une autre machine de Gramme ou avec une

pile ; on voit l'anneau tourner. Le courant de la pile arrive en M et sort en N après avoir traversé les 2 solénoïdes

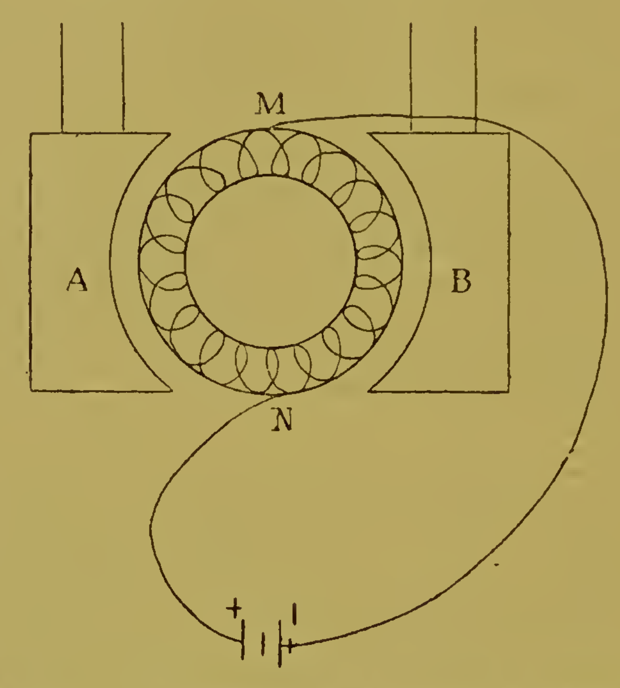


Fig. 204. — Reversibilité de la machine de Gramme.

qui se trouvent de part et d'autre de la ligne de commutation. Le mouvement est produit par les actions attractives ou répulsives qu'exercent sur les pôles M et N du solénoïde les pôles A et B de l'aimant fixe. Cette réversibilité est très souvent utilisée.

303. — Application médicale. — Dans les petites installations médicales on emploie avantageusement, pour mettre en mouvement les machines électro-statiques, la machine Gramme ou une de ses nombreuses modifications. Sur l'arbre de la machine on monte une poulie qu'on relie par des cordons à une autre poulie fixée sur l'arbre de la machine électrique. Le mouvement de rotation de l'anneau Gramme, obtenu au moyen d'une batterie au bichromate, est transmis à la machine électro-statique.

L'électricité de la batterie sera bien entendu remplacée avec avantage par l'électricité fournie par une usine centrale si le cabinet du médecin lui est relié.

Lorsqu'on a à sa disposition une petite force motrice, moteur à gaz ou à air comprimé, on peut à peu de frais mettre la machine Gramme en mouvement pendant plusieurs heures et utiliser le courant obtenu pour charger des accumulateurs qui peuvent rendre des services dans une installation médicale (galvanocautère, lampes à incandescence).

304. — Machines dynamo-électriques. — Les machines dynamos sont des machines Gramme ou des modifications de cette machine dans lesquelles le champ magnétique est considérablement augmenté par substitution de puissants électro-aimants à l aimant de la machine précédente. Les courants induits ont, comme nous l'avons dit, une intensité proportionnelle à l'intensité du champ. L'électro-aimant peut être animé par une autre machine Gramme appelée excitatrice. On peut aussi adopter la disposition suivante.

Le courant (fig. 205) de la machine se divise aux

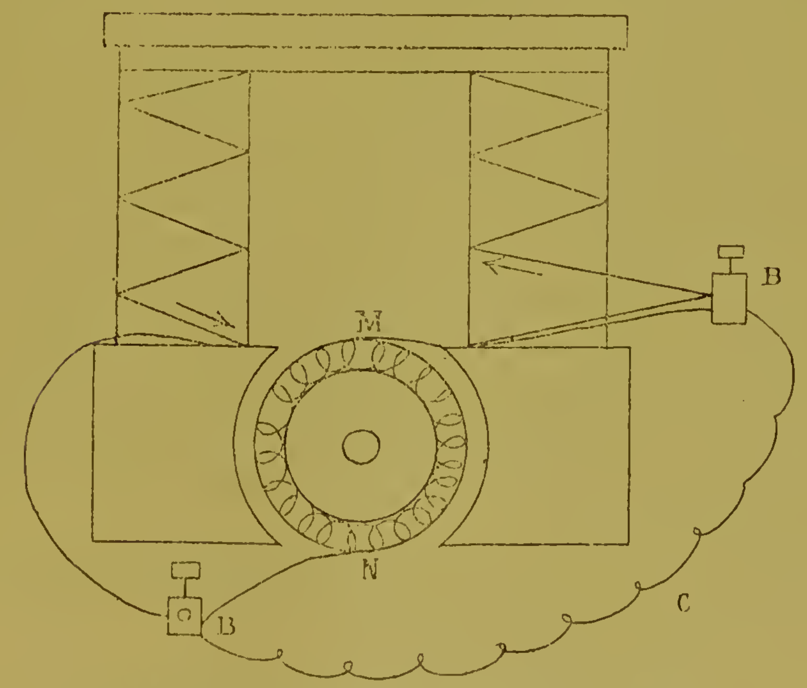


Fig. 205. — Schéma d'une machine dynamo.

bornes B B′ en deux autres ; l'un passe dans le circuit

extérieur BCB′, le second va dans l'électro-aimant en suivant les flèches.

Quand l'anneau commence à tourner, le magnétisme rémanent du noyau et des armatures, agissant comme le magnétisme de l'aimant de la machine précédente, donne naissance à un faible courant dont une partie passe dans le fil de l'électro qui commence à s'aimanter.

Il en résulte un courant plus fort dont une partie est dérivée dans l'électro-aimant. De là un accroissement de l'aimantation et par suite de l'intensité du courant induit. L'aimantation et l'énergie du courant se renforcent mutuellement jusqu'à ce que. l'électro ayant pris son maximum d'aimantation, la machine arrive à son régime normal. C'est une de ces machines qui fournit la lumière pour les expériences de cours. Ce sont des machines analogues très puissantes qui servent pour l'éclairage des villes.

305. — Applications médicales. — Ces sources puissantes d'électricité intéressent également le médecin et l'hygiéniste au point de vue des dangers que peuvent faire courir aux ouvriers et au public les masses énormes d'électricité qu'elles font circuler dans les câbles conducteurs. De trop nombreux accidents ont déjà démontré la puissance redoutable des courants qu'elles produisent et dont la force électromotrice peut atteindre et dépasser 8000 volts. Ces machines sont plus dangereuses encore lorsqu'au lieu de fournir des courants de direction constante comme celle dont nous avons parlé elles produisent des courants alternatifs. Les commotions qu'elles produisent provoquent de tels désordres que les fonctions vitales peuvent s'arrêter brusquement.

On sait que les Américains utilisent ces courants pour l'exécution de leurs condamnés.

«L'électricité, dit M. d'Arsonval, entraîne la mort : 1° par action directe (effets disruptifs de la décharge, qui agissent mécaniquement pour détruire les tissus) ; 2° par action

réflexe ou indirecte en agissant sur les centres nerveux dont l'irritation amène l'infinie variété des actions d'arrêt connues depuis les travaux de M Brown-Sequard sous le nom d'inhibition ou de dynamogénie ».

Dans le numéro du 1er novembre 1890 de la *Revue d'Électrothérapie*, le Dr Bröse signale l'emploi, à Berlin, d'un courant de 105 volts fourni par des machines dynamos, pour les divers usages de la médecine, galvanisation, faradisation, électrolyse, galvanocaustique et l'éclairage dans l'examen au spéculum. On obtient des courants d'une intensité convenable en intercalant dans le circuit des résistances suffisantes.

Avec une résistance de 1000 ohms l'intensité du courant égale $\frac{105}{5000} = 25$ milliampères.

On fait varier les résistances suivant les applications.

Les Drs Gautier et Larat ont aussi récemment organisé à Paris une installation dans laquelle ils utilisent le courant d'une usine centrale pour toutes les applications médicales.

CHAPITRE III.

TÉLÉPHONE ET MICROPHONE.

Le téléphone et le microphone, dont l'usage si répandu a facilité les rapports sociaux, sont également employés dans certaines applications médicales et physiologiques.

306. — Téléphone. — On appelle téléphone tout appareil qui transmet la voix à distance.

Le téléphone de Bell (fig. 206) comprend un barreau

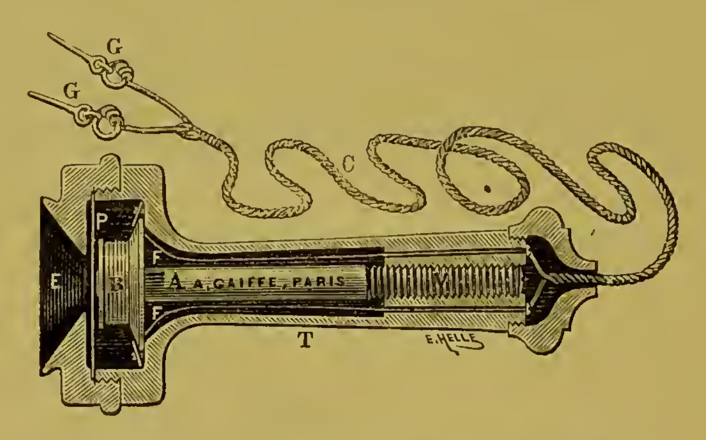


Fig. 206. — Téléphone construit par Gaiffe.

aimanté FF, une bobine en fil de cuivre B qui entoure une des extrémités polaires du barreau A et une armature en tôle mince P.

Le barreau et la bobine sont protégés par une enveloppe en bois.

La lame de tôle est fixée par ses bords au fond d'une embouchure E en forme d'entonnoir devant laquelle on parle.

Deux téléphones semblables ayant les extrémités des fils de leurs bobines réunies, l'un d'eux peut servir de trans-

metteur et l'autre de récepteur. Si on parle devant l'embouchure du premier, la voix est entendue, si on met l'oreille devant l'embouchure du second.

Les sons ainsi transmis conservent leur hauteur et leur timbre caractéristique.

On a d'abord expliqué cette transmission de la voix par les variations d'aimantation du barreau produites par les vibrations de la plaque, le rapprochement produisant une augmentation, l'éloignement une diminution de l'aimantation. Il se produisait dans la bobine, disait-on, des courants induits qui se transmettant dans la bobine du récepteur produisaient de semblables variations dans l'aimantation de son barreau. De là des mouvements de la plaque du récepteur isochrones à ceux de la plaque du transmetteur.

Mais cette explication doit être abandonnée. On sait en effet qu'en modifiant l'épaisseur de la plaque réceptrice on ne change pas le son transmis. Il en serait autrement si la plaque se déplaçait en masse.

De plus le son est encore transmis, bien que considérablement affaibli, si on supprime la plaque et même le barreau du récepteur.

L'explication acceptée aujourd'hui repose sur une ancienne expérience de Pages.

En faisant passer dans un électro aimant un courant très fréquemment interrompu, il entre en vibration. Si l'interrupteur est un électro-diapason le son rendu est à l'unisson de celui du diapason. Ce son ne peut être dû qu'au mouvement vibratoire produit dans le noyau par les alternatives d'aimantation et de désaimantation et en partie aussi aux mouvements vibratoires moléculaires produits dans le fil par les interruptions et les rétablissements rapides du courant.

On peut donc admettre que dans le téléphone récepteur le son rendu est dû à trois causes :

1° Aux vibrations moléculaires produites dans le noyau

et dans la plaque par les aimantations et les désaimantations successives dues aux courants induits ;

2° Aux vibrations de la plaque, lorsqu'elle est mince, de part et d'autre de sa position d'équilibre ;

3° Aux vibrations moléculaires produites dans le fil de la bobine par les courants induits.

Le téléphone est un excellent galvanoscope pour reconnaître la présence des courants discontinus. Le téléphone parle quand on le met dans le circuit d'une pile traversée par un courant soumis à de fréquentes interruptions. De même si on le place dans le circuit d'une bobine induite, toute variation brusque d'intensité dans la bobine inductrice est accusée par un bruit particulier. On peut dans la bobine à chariot éloigner la bobine induite à plus de 1 m. 50 de la bobine inductrice, le phénomène se produit encore.

Nous avons vu, pag. 220, que dans la méthode du pont de Wheastone on pouvait remplacer le galvanomètre par un téléphone, une bobine induite remplaçant la pile qu'on emploie ordinairement.

Le téléphone de Bell a reçu un grand nombre de modifications qui peuvent être utilisées dans les applications médicales.

307. — Microphone. — Le microphone de Hughes est, comme son nom l'indique, un appareil qui permet d'entendre les sons très faibles en les amplifiant.

Il se compose essentiellement (fig. 207) de deux morceaux de charbon A B, soutenus par une planchette verticale en communication avec deux bornes métalliques. Un troisième charbon C terminé en pointe à ses extrémités pénètre dans deux cavités creusées dans les deux premiers.

Les pointes peuvent jouer dans une certaine mesure dans ces cavités et se mettre en rapport plus ou moins parfait avec les parois. Une planchette horizontale E F soutient l'appareil, et on l'isole ordinairement avec des mor-

ceaux de tube en caoutchouc. Tout ébranlement imprimé à la planchette se communique à la tige de charbon, et ses extrémités se déplacent. Supposons les charbons dans un circuit qui comprend une pile et un téléphone. Toute vibration de la planchette modifie le nombre des points de contact du charbon mobile avec ses supports. Il en résulte des variations de résistance et par suite d'intensité qui sont accusées par le téléphone.

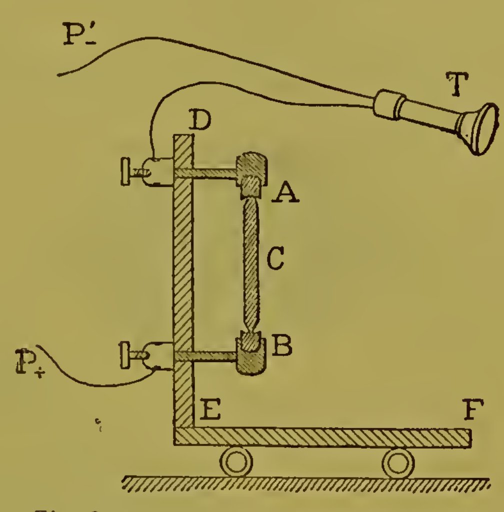


Fig. 207. — Microphone de Hughes.

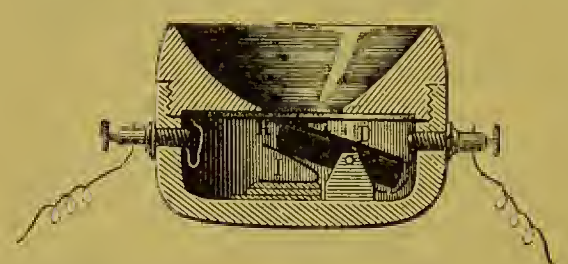
Le microphone peut amplifier les sons. Un frottement léger, le déplacement d'un insecte sur la planchette horizontale sont rendus perceptibles à l'oreille par l'instrument. C'est que ces bruits, si faibles qu'ils soient, modifient considérablement la résistance de l'appareil s'il est sensible, et c'est une condition suffisante pour que la membrane du téléphone entre en vibration. Toutefois l'amplification des sons ne se produit que si le support du microphone est ébranlé mécaniquement. Dans les transmissions téléphoniques la voix n'est pas amplifiée quand on parle devant le microphone transmetteur.

Le microphone constitue la partie essentielle des transmetteurs des appareils téléphoniques. Nous n'avons à nous occuper ici que de ses applications médicales.

308. — Appareils médicaux microtéléphoniques du Dr Boudet. — Le Dr Boudet (de Paris) a obtenu des microphones très sensibles en les formant avec deux charbons, l'un mobile autour d'un axe horizontal, l'autre fixé à une tige ou à une membrane avec lesquelles il se déplace. Le contact entre les deux charbons est établi par l'élasticité

d'un ressort formé simplement avec un morceau de papier plié en V. L'une des branches du V est appliquée contre une pince fixe, l'autre contre le charbon mobile.

309. — Capsule microphonique de Boudet. — Dans un des appareils de Boudet (fig. 208), le charbon H est fixé contre une lame de tôle mince, maintenue par ses bords au fond d'une embouchure semblable à celle d'un téléphone. Le charbon mobile autour de l'axe D est appuyé contre le charbon fixé par le ressort en papier I. Les deux charbons sont logés dans une boîte cylindrique et reliés métalliquement à deux bornes qui permettent de les faire entrer dans le circuit d'une pile.


Fig. 208 — Capsule microphonique de Boudet.

Deux microphones de Boudet placés dans un même circuit peuvent servir, l'un de transmetteur, l'autre de récepteur.

Boudet a fait avec cet appareil d'intéressantes expériences, en l'associant à un téléphone ordinaire dont la plaque porte une tige cylindrique. L'extrémité arrondie de celle-ci étant placée entre les dents, on entend nettement les paroles prononcées devant le microphone alors même que les oreilles sont complètement bouchées.

C'est au moyen de cette disposition que Boudet a été entendu par des sourds-muets dont la sensibilité auditive n'était pas complètement perdue. En reliant la tige précédente à un style, Boudet a obtenu sur un cylindre enregistreur des courbes correspondant aux sons émis devant le microphone. Dans certains états pathologiques, le microphone étant disposé sur diverses régions du cou, les tracés normaux correspondant à un son déterminé sont complètement modifiés. Il serait possible, d'après Boudet, de diagnostiquer par de pareils tracés certaines maladies au

larynx et même certains anévrismes de l'aorte avec compression du nerf récurrent.

310. — Sphygmophone. — Dans le sphygmophone de Boudet (fig. 209) les pulsations de l'artère sont transmises à

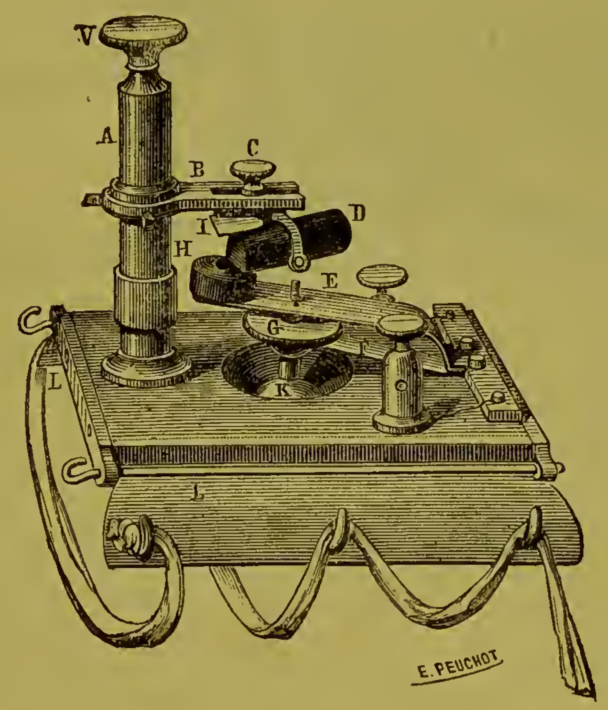


Fig. 209. — Sphygmophone de Boudet.

un bouton K qui est lié à un ressort E fixé à une des extrémités. L'autre extrémité porte une pastille de charbon H. Le deuxième charbon D du microphone peut tourner autour d'un axe horizontal, et un ressort en papier I est appliqué d'un côté contre ce charbon et de l'autre contre une pièce fixe B à laquelle l'axe est rattaché. La vis V et la pièce mobile C servent pour le réglage. Le microphone étant avec un téléphone dans le circuit d'une pile, on distingue dans ce dernier avec une certaine habitude le rythme des pulsations artérielles.

311. — Stéthoscope microphonique. — En plaçant ce microphone (fig. 210) sur la membrane d'une capsule de Marey dont l'air est ébranlé par les divers bruits tho-

raciques Boudet a obtenu un stéthoscope d'une très haute sensibilité.

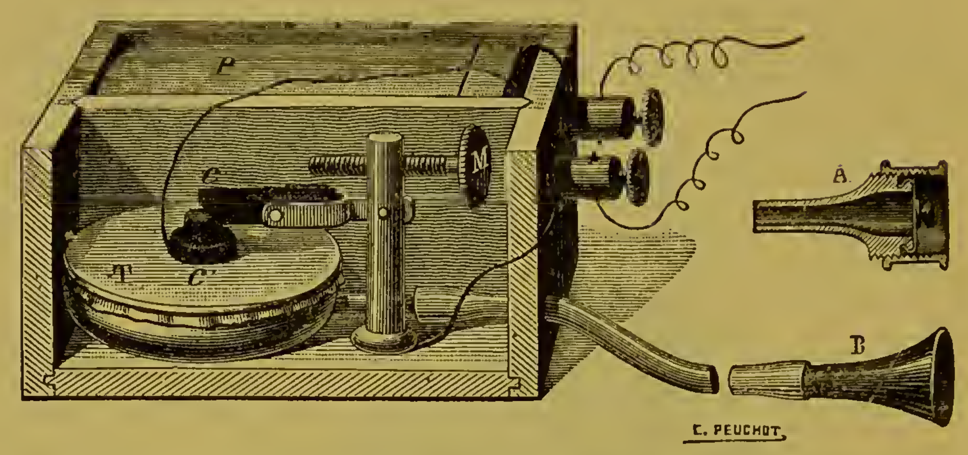


Fig. 210 — Stéthoscope microphonique de Boudet. L'embouchure B étant placée sur la paroi thoracique, ses mouvements de compression et de dilatation sont transmis par un tuyau en caoutchouc à l'air d'une capsule de Marey T fermée à la partie supérieure par une fine membrane, sur laquelle est fixé un des charbons C du microphone CC.

312. — Myophone. — Boudet a également utilisé le microphone dans la construction de son myophone (fig. 211), appareil qui peut servir à distinguer les bruits produits dans un muscle à l'état de repos des bruits qui s'y produisent au moment d'une contraction soit volontaire, soit provoquée par un excitant mécanique ou électrique. Ces bruits prennent des caractères particuliers dans les cas pathologiques. Dans les paralysies hystériques les bruits sont très différents de ceux qu'on observe dans l'atrophie musculaire progressive, dans le tabes, etc.

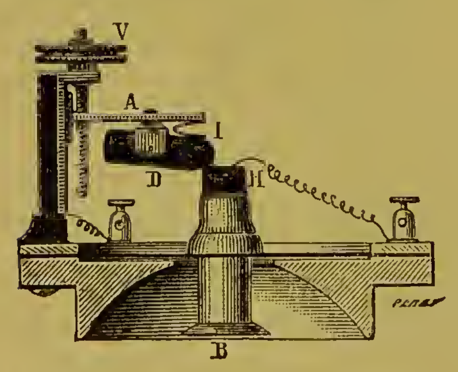


Fig. 211.— Myophone de Boudet. La tige centrale est terminée d'un côté par une partie élargie B qu'on applique sur la peau et de l'autre par un charbon H. Elle est fixée dans une plaque de tôle mince qui forme la paroi supérieure d'une capsule.

313. — Point différentiel appliqué a la mesure de de l'acuité auditive. — Boudet a également introduit un

téléphone et son microphone dans son pont différentiel dans le but de mesurer l'acuité auditive. Le courant d'une pile traverse un microphone et se partage en *a* et *b* en deux circuits dérivés B et B′ représentés par des bobines qui sont traversées par deux courants de sens contraire. Sur le circuit de l'une des bobines est intercalée une boîte de résistances. Les bobines sont construites de telle façon que, toutes les chevilles de la boîte étant en place, les deux circuits dérivés ont la même résistance et par suite les intensités des courants qui les parcourent sont égales.

Autour de ces bobines inductrices est enroulée une bobine induite reliée à ses deux extrémités avec un téléphone. On place une montre sur la planchette du microphone. Les variations d'intensité qui se produisent dans les deux fils de dérivation étant égales et de sens contraire, les courants induits sont aussi égaux et de sens contraire, et le téléphone ne parle pas. Mais si on enlève une des chevilles de la boîte de résistances un des circuits a une résistance plus grande que l'autre. Les courants induits ne se compensent plus, de sorte que la membrane du téléphone vibre (fig. 212).

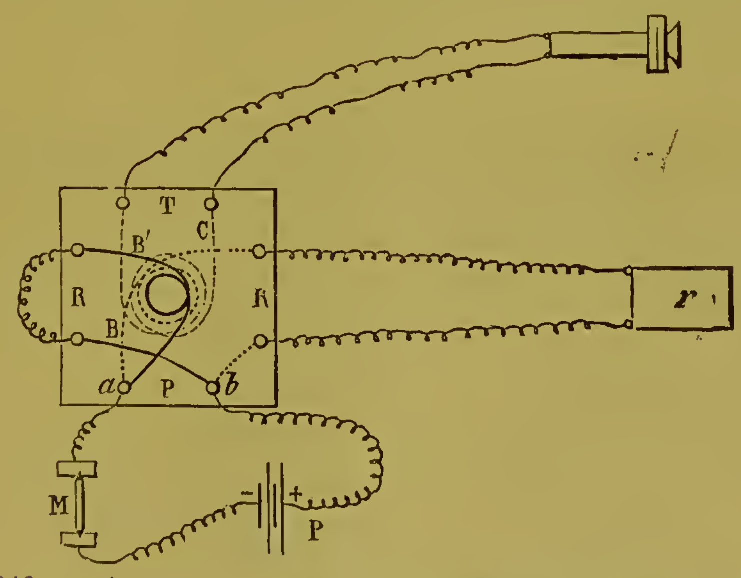


Fig. 212. — Appareil de Boudet pour la mesure de l'acuité auditive.

On comprend facilement que la résistance supplémen-

taire à introduire dans un circuit pour que le bruit de la membrane soit entendu dépend du degré de sensibilité de l'oreille. Si une oreille dans les conditions physiologiques entend parler le téléphone pour une résistance de 1 ohm, une oreille dont la résistance est émoussée n'entendra quelque chose que pour une résistance supplémentaire de 10 ohms, 20 ohms, etc. On peut donc ainsi comparer les acuités auditives dans les divers états pathologiques.

La sensibilité de divers microphones n'est pas la même, de sorte qu'il est difficile de comparer les résultats obtenus avec deux instruments différents.

Mais la comparaison est possible quand à la place du microphone on dispose un électro-diapason interrupteur.

314. — Sonde exploratrice de Chardin. — Chardin a mis à profit la sensibilité du microphone dans la construction d'une sonde exploratrice.

C'est une sonde ordinaire rigide qui est munie d'une poignée dans laquelle est un microphone relié à une pile et à un téléphone. Le contact de l'extrémité de la sonde avec la muqueuse vésicale ne produit rien de particulier, mais si elle touche un corps étranger le téléphone entre en vibration.

315. — Sonomètre de Hughes — Le pont différentiel de Boudet n'est qu'une modification du sonomètre de Hughes (fig. 213), appareil qu'on peut aussi utiliser pour apprécier l'acuité auditive.

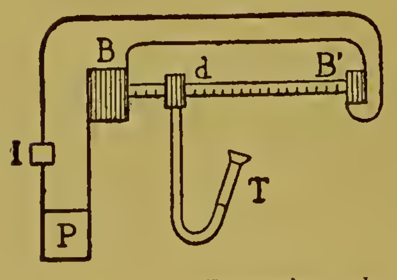


Fig. 213. — Sonomètre de Hughes.

Le courant fourni par une pile P traverse un microphone et deux bobines dans lesquelles le fil est enroulé en sens contraire B B'. Leurs dimensions ne sont pas les mêmes.

Le fil de la bobine B a une longueur de 100 mèt.

La longueur du fil de B′ n'est que de 9 mèt.

La distance qui les sépare est de 30 centim.

Une troisième bobine B″ est mobile sur la même règle. Son fil a une longueur de 100 mèt. Si on place une montre sur la planchette du microphone, les courants qui passent dans les bobines B et B′ subissent des variations d'intensité qui font naître dans la bobine B″ des courants induits. La position de B″ étant quelconque, le téléphone parle. En

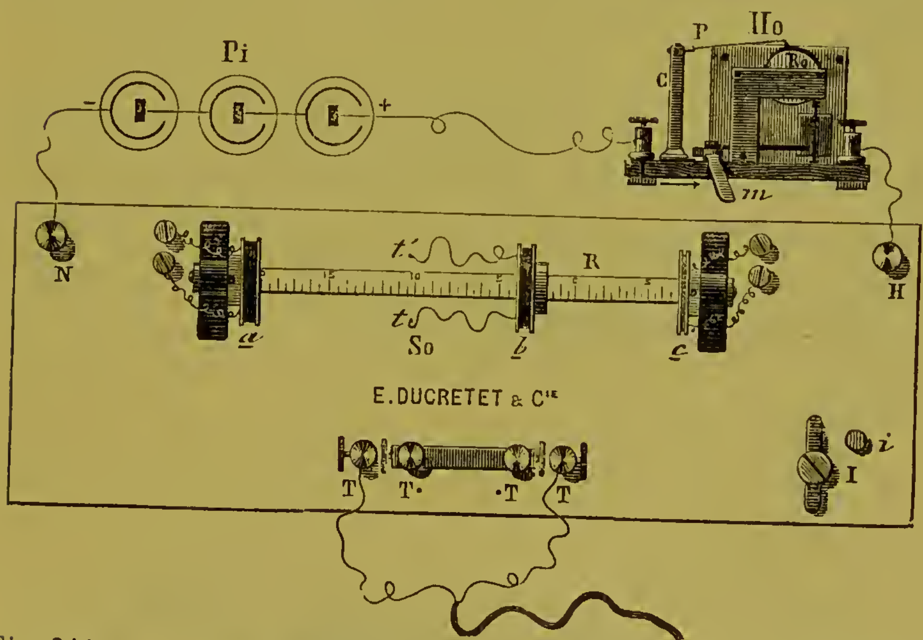


Fig. 214. — Sonomètre électrique construit par Ducretet. *Pi* pile, *Ho* interrupteur, *a*,*c* bobines fixes, *b* bobine mobile reliée par les fils, *tt′* et les bornes TT au téléphone ou à un couple de téléphones.

déplaçant la bobine induite on trouve une position plus rapprochée de la petite bobine que de la grande pour laquelle les actions inductrices des deux bobines se compensent. Le téléphone est alors muet. Cette position étant déterminée par une oreille normale, on marque 0 au point de la règle qui correspond à son extrémité de droite. La bobine mobile étant appliquée contre la bobine B, on marque 200 au point de la règle qui correspond à la même extrémité. On divise l'intervalle entre 0 et 200 en 200 parties égales.

Pour une oreille normale il suffit de donner à la bobine mobile un déplacement faible à partir du zéro vers la gauche pour que le bruit du téléphone soit perçu.

L'acuité auditive étant diminuée, on n'entend parler le téléphone que pour un déplacement plus grand.

La division 200 correspond à une surdité absolue.

L'acuité est caractérisée par la division de la règle correspondante à la position de la bobine quand le bruit du téléphone est entendu.

Cette graduation conventionnelle est analogue à celle des échelles optométriques qui servent à la détermination de l'acuité visuelle.

316. — Balance d'induction de Hughes. — Le téléphone et le microphone se retrouvent encore dans un instrument imaginé par Hughes, pour reconnaître la présence d'un projectile dans une plaie profonde et qu'il a appelé la balance d'induction (fig. 215).

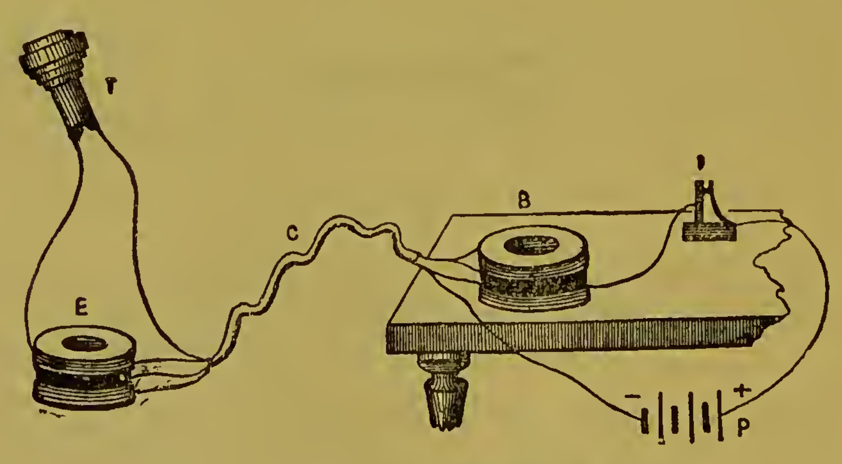


Fig. 215. — Balance d'inducteurs de Hughes.

Dans un circuit comprenant une pile P et un microphone I sont intercalées 2 bobines verticales identiques B, E que le courant traverse en sens contraire.

Un 2e circuit comprend un téléphone et 2 bobines identiques qu'on place au-dessus des premières et qui sont enroulées dans le même sens. Ces bobines sont mobiles.

Le microphone étant ébranlé par une montre par exemple, les bobines inductrices produisent dans les bobines mobiles deux courants induits de sens contraire, et si l'appareil est bien réglé on ne doit entendre aucun bruit dans le téléphone. Le réglage se fait facilement en éloignant plus ou moins les bobines mobiles des bobines fixes correspondantes. Quand ce résultat est obtenu, les courants induits dans les 2 bobines en traversant le téléphone se compensent et se neutralisent. Mais il suffit qu'un corps métallique soit dans le voisinage d'une bobine mobile pour que cette neutralisation cesse et pour que le téléphone entre en vibration.

L'effet produit dépend d'ailleurs de la nature, du poids et de la distance du métal employé. Le son a une intensité maximum quand l'objet métallique est à l'intérieur de la bobine mobile.

On peut donc affirmer qu'un projectile est dans l'intérieur d'une plaie quand, l'appareil étant réglé, le téléphone parle, une des bobines mobiles étant dans le voisinage de la plaie.

FIN.

TABLE ALPHABÉTIQUE DES MATIÈRES

A

B

C

D

E

F

M

N

O

P

Q

R

S

T

U

V

W

Y

Z

ERRATA

Page	ligne	au lieu de :	lire :
37	16	leurs distances aux points considérés	leurs distances au point considéré
39	13	les proportionnalités	la proportionnalité
61	7	c'est la différence	la différence
86	27	la lame électrique	la lame élastique
108	27	La fréquence des attaques	diminue la fréquence des attaques
161	31	le couple	le liquide
174	26	doit l'actionner	doit fonctionner
188	12	pôle négatif	pôle positif
—	14	pôle positif	pôle négatif
—	—	lame 2	lame 1
191	1	multiplication de Schweigger	multiplicateur de Schweigger
201	14	le cercle	le cadre
238		$i = \frac{R + r}{E}$	$i = \frac{E}{R + r}$
—		$i' = \frac{R + r'}{E'}$	$i' = \frac{E'}{R + r'}$
245	11	de la limite	à la limite
248		$\frac{e}{1 \text{ volt } 435} = \frac{e}{l}$	$\frac{e}{1 \text{ volt } 435} = \frac{l}{l'}$
260	22	tube de Lestie	cube de Lestie
286	22	anode	cathode
298		$I = \frac{R}{E}$	$I = \frac{E}{R}$ d'où : $I = \frac{Q \times R}{E}$

